



TUGAS AKHIR - RE 141581

EVALUASI DAN DESAIN ULANG UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) INDUSTRI TEKSTIL DI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN BIOFILTER TERCELUP ANAEROBIK-AEROBIK

ACHMAD MUZAKKY
3312100051

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

DOSEN CO-PEMBIMBING
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - RE 141581

**EVALUATION AND RE-DESIGN OF A TEXTILE
INDUSTRY WASTE WATER TREATMENT PLANT
(WWTP) UNIT IN SURABAYA USING A
SUBMERGED ANAEROBIC-AEROBIC BIOFILTER**

ACHMAD MUZAKKY
3312100051

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

CO-SUPERVISOR
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI DAN DESAIN ULANG UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) INDUSTRI TEKSTIL DI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN BIOFILTER TERCELUP ANAEROBIK-AEROBIK

TUGAS AKHIR

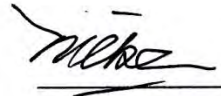
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

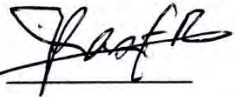
ACHMAD MUZAKKY
NRP 33 12 100 051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.



2. Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.



EVALUASI DAN DESAIN ULANG UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) INDUSTRI TEKSTIL DI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN BIOFILTER TERCELUP ANAEROBIK-AEROBIK

Nama : Achmad Muzakky
NRP : 3312100051
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke K., MSc.
Dosen Co-Pembimbing : Dr. Ir. M. Razif, MM

ABSTRAK

Perkembangan dunia *fashion* saat ini membuat permintaan produk tekstil meningkat. Industri tekstil Z sebagai salah satu industri tekstil tua di Kota Surabaya berusaha untuk tetap bersaing dipangsa pasarnya dengan memproduksi berupa pakaian berwarna gelap. Peningkatan kegiatan produksi yang tidak diikuti dengan perubahan pada sistem pengolahan IPAL membuat perubahan pada karakteristik air limbah yang dikeluarkan oleh industri. Hal ini menyebabkan air yang dikeluarkan tidak memenuhi baku mutu. Sehingga diperlukan sebuah evaluasi dari setiap unit dan perencanaan ulang dari sistem IPAL.

Evaluasi dilakukan dengan mengukur dimensi dari masing-masing unit IPAL eksisting, menganalisa sampel air limbah, dan membandingkannya dengan kriteria desain dari masing-masing unit. Perencanaan ulang dilakukan pada unit yang tidak berfungsi dengan baik. Biofilter tercelup anaerobik-aerobik adalah salah satu teknologi yang dapat dijadikan sebagai alternatif karena memiliki banyak kelebihan dari aspek teknis dan finansial

Hasil evaluasi IPAL eksisting adalah semua unit tidak memenuhi kriteria desain. Hal inilah yang menyebabkan air limbah yang dihasilkan tidak memenuhi baku mutu. Limbah yang dihasilkan IPAL eksisting adalah 52,05 mg/L TSS; 899,3 mg/L COD; 182,61 mg/L BOD; dan 31,85 PtCo warna. Rekomendasi berupa perencanaan ulang menggunakan biofilter tercelup anaerobik-

aerobik menghasilkan limbah dengan kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan adalah 15,93 mg/L; 29,05 mg/L; 2,99 mg/L; dan 2,63 PtCo dengan biaya investasi sebesar Rp 793.175.680.

Kata kunci: Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik, desain ulang, evaluasi IPAL, limbah cair tekstil.

EVALUATION AND RE-DESIGN OF A TEXTILE INDUSTRY WASTE WATER TREATMENT PLANT (WWTP) IN SURABAYA USING A SUBMERGED ANAEROBIC-AEROBIC BIOFILTER

Name of Student	: Achmad Muzakky
NRP	: 3312100051
Department	: Environmental Engineering
Supervisor	: Prof. Dr. Ir. Nieke K., MSc.
Co-Supervisor	: Dr. Ir. M. Razif, MM

ABSTRACT

The growth of fashion, nowadays, makes the demand of the product increases. The Z textile industry as the one of the oldest textile industries in Surabaya is keeping its existence to compete by producing some dark coloured clothes. The increasing of production activity makes the characteristics of waste water of this factory changed. However, the waste water treatment plant (WWTP) of the factory has not been changed. It cause the decrease of treated water such that it does not fulfill the effluent standard. Therefore, an evaluation on every unit in the WWTP is needed. Redesign of the WWTP may be suggested.

Evaluation is conducted by measuring the dimension of the WWTP's unit, analyze the waste water sample, and comparing it to the design criteria of every existed unit. Redesign is conducted on the units which have not have good performance. A submerged anaerobic-aerobic biofilter is utilized as an alternative design since it has many advantages in technical and financial aspects.

The results of evaluation of the existing WWTP is that all units do not comply with the design criteria. It causes the quality of effluent of the WWTP does not fulfill the effluent standard. The content of some parameters of the effluent are 52.05 mg/L of TSS; 899.3 mg/L of COD; 1,074.2 mg/L of BOD; and 31.85 PtCo of colour. It is recommended to redesign the WWTP by using a submerged anaerobic-aerobic biofilter and activated carbon which are combined with the existing unit. The new design will give the

quality of treated waste water as follows: TSS = 11.95 mg/L;, COD = 104.14 mg/L;, BOD = 31.94 mg/L; and colour = 1.97 PtCo with an investment cost of IDR 1,250,782,921.

Keywords: mass balance, redesign, submerged anaerobic-aerobic biofilter, textile wastewater, WWTP evaluation.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT	1
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR TABEL.....	7
DAFTAR GAMBAR	9
BAB 1 PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2. Rumusan Masalah....	Error! Bookmark not defined.
1.3. Tujuan Perencanaan	Error! Bookmark not defined.
1.4. Ruang Lingkup.....	Error! Bookmark not defined.
1.5. Manfaat Perencanaan	Error! Bookmark not defined.
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA ...	Error! Bookmark not defined.
2.1. Karakteristik Air Limbah Industri Tekstil	Error! Bookmark not defined.
2.2. Baku Mutu Air Limbah	Error! Bookmark not defined.
2.3. Sistem Pengolahan Air Limbah	Error! Bookmark not defined.
2.4. Pengolahan Biologis Air Limbah	Error! Bookmark not defined.
2.5. Metode dan Teknologi Pengelohan Air Limbah Industri Tekstil	Error! Bookmark not defined.

- 2.6. Metode Kesetimbangan Massa **Error! Bookmark not defined.**
- 2.7. Bak Ekualisasi **Error! Bookmark not defined.**
- 2.8. Bak Koagulasi - Flokulasi **Error! Bookmark not defined.**
- 2.9. Bak Pengendapan **Error! Bookmark not defined.**
- 2.10. Teknologi Biofilter dalam Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil **Error! Bookmark not defined.**
- 2.11. Prinsip Kerja Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik **Error! Bookmark not defined.**
- 2.12. Proses Pengolahan Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik **Error! Bookmark not defined.**
- 2.13. Studi Terdahulu **Error! Bookmark not defined.**

BAB 3 METODOLOGI PERENCANAAN **Error! Bookmark not defined.**

- 3.1. Kerangka Perencanaan Tugas Akhir **Error! Bookmark not defined.**
- 3.2. Kerangka Evaluasi **Error! Bookmark not defined.**

BAB 4 GAMBARAN UMUM OBJEK PERENCANAAN **Error! Bookmark not defined.**

- 4.1. Gambaran Umum Objek Perencanaan **Error! Bookmark not defined.**
- 4.2. Kondisi Eksisting IPAL Objek Perencanaan **Error! Bookmark not defined.**

BAB 5 HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN **Error! Bookmark not defined.**

- 5.1. Perhitungan Debit Air Limbah IPAL **Error! Bookmark not defined.**
- 5.2. Karakteristik Air Limbah IPAL **Error! Bookmark not defined.**

- 5.3. Analisis dan Evaluasi IPAL Eksisting **Error!**
Bookmark not defined.
- 5.3.1 Proses Sistem IPAL Eksisting **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.2 Operasional IPAL Eksisting **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.3 Unit Bak Ekualisasi **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.4 Unit Bak Koagulasi - Flokulasi **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.5 Unit Bak Pengendap Flok **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.6 Unit Bak Pengendapan Final **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.7 Kestimbangan Massa **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.3.8 Rekomendasi Evaluasi **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.4. Perencanaan Ulang IPAL **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.4.1 Perencanaan Ulang Alternatif 1 **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.4.2 Perencanaan Ulang Alternatif 2 **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.4.3 Perencanaan Ulang Alternatif 3 **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.4.4 Perencanaan Karbon Aktif **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.4.5 Perencanaan Filter Press **Error!** **Bookmark not defined.**
- 5.5. Kestimbangan Massa Desain Alternatif **Error!**
Bookmark not defined.

5.5.1	Keseimbangan Massa Alternatif 1	Error! Bookmark not defined.
5.5.2	Keseimbangan Massa Alternatif 2	Error! Bookmark not defined.
5.5.3	Keseimbangan Massa Alternatif 3	Error! Bookmark not defined.
5.6.	Rancangan Anggaran Biaya	Error! Bookmark not defined.
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		11
6.1.	Kesimpulan	11
6.2.	Saran	12
DAFTAR PUSTAKA		14
BIOGRAFI PENULIS		17

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2.11 Hasil Studi Terdahulu . **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.1 Kapasitas Mesin dan Debit Air Limbah yang Dikeluarkan **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.2 Hasil Uji Laboratorium Karakteristik Air Limbah IPAL Industri Tekstil Z **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.3 Kriteria Desain Bak Ekualisasi..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.4 Hasil Analisa Unit Bak Ekualisasi **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.5 Kriteria Desain Bak Flokulasi..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.6 Hasil Analisa dan Evaluasi Bak Flokulasi **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.7 Kriteria Desain Bak Pengendap Flok..**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.8 Perhitungan dan Perbandingan Kriteria Desain Bak Pengendap Flok **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.9 Kriteria Desain Bak Pengendapan.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.10 Perhitungan dan Perbandingan Kriteria Desain Bak Pengendap Final **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.11 Persentase Removal Unit IPAL Eksisting..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.12 Kualitas Air Limbah IPAL Eksisting...**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.13 Kriteria Desain Anaerobik Biofilter ... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.14 Dimensi Desain Alternatif 1**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.15 Dimensi Desain Alternatif 2**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.16 Dimensi Desain Alternatif 3**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.17 Kriteria Desain Karbon Aktif.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.18 Persentase Removal Alternatif 1**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.19 Effluen Alternatif 1 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.20 Persentase Removal Unit Alternatif 2 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.21 Effluen Alternatif 2 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.22 Persentase Removal Unit Alternatif 3 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.23 Effluen Alternatif 3 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.24 Rancangan Anggaran Biaya Investasi..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.25 Biaya Operasi **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.26 Biaya Perawatan **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam Sistem Bak Ekualisasi.....	Error!
	Bookmark not defined.	
Gambar 2.2	Mekanisme Proses Metabolisme didalam Sistem Biofilter	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3	Diagram Pengolahan Pada Biofilter Kombinasi	Error!
	Bookmark not defined.	
Gambar 3.1	Diagram Alir Kerangka Perencanaan Tugas Akhir	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2	Diagram Alir Kerangka Evaluasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1	Bak Ekualisasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2	Cooling Tower	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3	Bak Netralisasi.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4	Bak Tanki Aerasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5	Bak Koagulasi - Flokulasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6	Bak Pengendapan Final	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.7	Bak Pengendapan Flok	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8	Bak Pengendapan Lumpur	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.9	Bak Pengering Lumpur	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10	Diagram Alir IPAL Awal	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.1	Diagram Alir Sistem IPAL Saat Ini	Error! Bookmark not defined.

Gambar 5.2 Diagram Alir Alternatif 1	Error! Bookmark not defined.	Bookmark	not
Gambar 5.3 Diagram Alir Alternatif 2	Error! Bookmark not defined.	Bookmark	not
Gambar 5.4 Diagram Alir Alternatif 3	Error! Bookmark not defined.	Bookmark	not

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri tekstil Z adalah salah satu industri tekstil tua di Kota Surabaya yang bergerak di bidang perajutan dan pencelupan sejak tahun 1959. Industri tekstil Z mampu memenuhi permintaan produk tekstil berwarna cerah dalam jumlah yang besar. Perkembangan dunia *fashion* yang global dan dinamis membuat permintaan produk tekstil dengan warna yang lebih variatif meningkat. Perkembangan dan meningkatnya permintaan produk tekstil membuat industri tekstil Z berusaha untuk tetap bersaing dengan memproduksi pakaian berwarna gelap. Dampak peningkatan kegiatan produksi industri tekstil Z membuat limbah yang dihasilkan bertambah dan mengalami perubahan karakteristik. IPAL industri tekstil Z memiliki desain untuk mengolah air limbah tekstil dengan karakter limbah berwarna cerah pada awalnya, tetapi akibat perubahan karakteristik limbah yang dihasilkan menyebabkan IPAL tidak bekerja secara efektif. Kurang efektifnya IPAL dalam mengolah limbah membuat industri tekstil Z segera melakukan perbaikan pada sistem IPAL dengan penambahan unit berupa tanki aerasi yang dikombinasikan dengan unit IPAL yang telah ada sebelumnya. Kualitas limbah hasil dari modifikasi unit IPAL industri tekstil Z untuk parameter COD, BOD, dan TSS masih belum memenuhi baku mutu serta warna yang dihasilkan masih pekat. Kinerja IPAL dari hasil pembenahan yang kurang baik membuat industri tekstil Z mencari solusi yang tepat untuk memperbaiki IPAL agar kualitas limbah yang dikeluarkan memenuhi baku mutu yaitu dengan melakukan evaluasi dari unit IPAL eksisting dan merencanakan desain dengan alternatif baru yang efektif sehingga mampu memberikan keuntungan pada industri tekstil Z dari aspek teknis maupun aspek finansial untuk mengolah limbah yang dihasilkan.

Teknologi pengolahan air limbah terus berkembang seiring bertambahnya kebutuhan dan perubahan karakteristik air limbah yang lebih variatif. Perkembangan teknologi pengolahan limbah harus disesuaikan dengan kebutuhan dan daya dukung yang

dimiliki oleh penggunanya. Salah satu teknologi pengolahan air limbah tekstil yang dapat digunakan adalah biofilter tercelup anaerobik-aerobik. Unit ini memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah dengan kombinasi proses anaerobik-aerobik yang memiliki beberapa keunggulan seperti efisiensi penghilangan yang cukup besar untuk parameter yang diolah, pengoperasian yang lebih mudah, dan energi yang digunakan untuk operasi lebih kecil sehingga biaya lebih murah (Said, 2002b).

Evaluasi IPAL eksisting diharapkan mampu menganalisis unit IPAL yang berkinerja kurang baik dan dapat memberikan rekomendasi yang tepat untuk sistem IPAL eksisting. Perencanaan ulang menggunakan biofilter tercelup anaerobik-aerobik diharapkan mampu menjadi teknologi alternatif bagi industri tekstil Z untuk memperbaiki kinerja IPAL eksisting sehingga kualitas air limbah yang dikeluarkan dapat memenuhi baku mutu dan terjadi keseimbangan dalam biaya pengoperasian IPAL.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Unit IPAL industri tekstil Z manakah yang tidak berfungsi dengan baik?
2. Bagaimana merencanakan desain ulang IPAL menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik sebagai alternatif untuk sistem pengolahan air limbah di industri tekstil Z?
3. Menentukan rancangan anggaran biaya yang diperlukan untuk desain pengolahan alternatif yang direncanakan.
4. Bagaimana perbandingan kelebihan untuk desain ulang IPAL industri tekstil Z menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik terhadap IPAL eksisting dilihat dari aspek teknis dan finansial?

1.3. Tujuan Perencanaan

Tujuan dari perencanaan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis permasalahan dan kinerja pada unit IPAL eksisting industri tekstil Z.
2. Merencanakan ulang unit IPAL eksisting yang berkinerja kurang baik dengan menggunakan alternatif desain berupa unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik.
3. Menentukan rancangan anggaran biaya alternatif desain ulang IPAL yang direncanakan dengan menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik.
4. Membandingkan kelebihan desain ulang IPAL menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik dengan IPAL eksisting industri tekstil Z berdasarkan aspek teknis dan finansial.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam perencanaan tugas akhir ini adalah:

- a. Karakteristik air limbah tekstil yang digunakan meliputi BOD, COD, TSS, dan warna.
- b. Alternatif desain ulang meliputi desain aiofilter tercelup anaerobik-aerobik dan unit pengolahan tambahan sesuai dengan kebutuhan.
- c. Perhitungan rancangan anggaran biaya menggunakan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2015.
- d. Parameter pembanding untuk kelebihan desain ulang IPAL yang digunakan pada aspek teknis meliputi efisiensi penyisihan parameter dan efektivitas unit.
- e. Parameter pembanding untuk kelebihan desain ulang IPAL yang digunakan dalam aspek finansial meliputi biaya investasi berupa rancangan anggaran biaya (RAB) dan biaya operasi.
- f. Baku mutu air limbah industri yang digunakan adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan

Kegiatan/Usaha Lainnya pada bagian Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Tekstil.

1.5. Manfaat Perencanaan

Manfaat dari perencanaan tugas akhir ini adalah:

- a. Memperbaiki IPAL industri tekstil Z sehingga menghasilkan air limbah yang memenuhi baku mutu yang berlaku.
- b. Menjadi bahan pertimbangan dalam perbaikan kinerja unit IPAL industri tekstil Z sehingga air limbah yang dibuang dapat memenuhi baku mutu dan kontinyu dengan baik.
- c. Sebagai acuan untuk pembangunan unit pengolahan air limbah jika ada penambahan kapasitas produksi dari industri tekstil Z dimasa mendatang.
- d. Menjaga kualitas air Sungai Surabaya sehingga dapat meringankan beban PDAM Kota Surabaya untuk menggunakan air Sungai Surabaya sebagai air baku PDAM Kota Surabaya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Air Limbah Industri Tekstil

Air limbah industri tekstil adalah salah satu limbah cair yang memiliki banyak permasalahan karena memiliki kandungan yang bermacam-macam (kompleks) dan terdiri dari bahan kimia yang susah untuk diurai. Bahan kimia penyusun air limbah industri tekstil didominasi oleh zat-zat pewarna kain yang bersifat sintetis yang berasal dari kegiatan produksi entah pencelupan maupun pencapan. Karakteristik air limbah dengan parameter BOD, COD, TSS, dan warna yang relatif tinggi menimbulkan masalah yang serius bagi lingkungan (Manurung, dkk, 2004).

2.2. Baku Mutu Air Limbah

Sebuah peraturan yang mengatur air limbah diperlukan untuk menjaga kualitas air permukaan atau badan air agar tidak tercemar. Salah satu peraturan yang berlaku di Indonesia untuk standardisasi adalah baku mutu. Peraturan baku mutu air limbah yang digunakan adalah PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013. Baku mutu ini mengatur kualitas air limbah yang harus dikeluarkan oleh industri tekstil berdasarkan kegiatan produksinya di area Provinsi Jawa Timur. Baku mutu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD	60
COD	150
TSS	50
Fenol Total	0,5
Krom Total (Cr)	1
Amonia Total (NH ₃ -N)	8
Sulfida (sebagai S)	0,3
Minyak & Lemak	3

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
pH	6 - 9
Volume Limbah Maks. (dalam m ³ /ton)	100

Sumber: Baku Mutu PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013

Pada Tabel 2.1 terdapat sepuluh parameter yang harus dipenuhi oleh setiap industri tekstil. Penjelasan dari setiap parameter yang tercantum pada baku mutu PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013 adalah sebagai berikut:

a. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan zat-zat organik secara biokimia oleh mikroorganisme. Bahan organik dalam air buangan tersusun dari karbon, oksigen, dan sedikit unsur-unsur lainnya, seperti belerang, nitrogen. Mikroorganisme mempunyai potensi untuk bereaksi dengan oksigen. Oksigen tersebut dipergunakan oleh mikroorganisme untuk respirasi sehingga dapat menguraikan senyawa organik. Baku mutu limbah cair tekstil menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah untuk Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, kandungan BOD dalam air buangan dari industri tekstil maksimal sebesar 60 mg/L.

b. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan zat-zat organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik dalam air yang dapat dioksidasi secara kimia. Baku mutu limbah cair tekstil menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah untuk Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya kandungan COD dalam air buangan dari industri tekstil maksimal sebesar 150 mg/L.

c. Padatan total (*Total Solid*)

Jumlah zat padat yang tertinggal apabila air buangan yang diuapkan pada suhu 103–105 °C. Padatan ini dapat digolongkan menjadi padatan tersuspensi, koloid, dan terlarut. Baku mutu

limbah cair tekstil menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah untuk Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah pabrik tekstil maksimal sebesar 50 mg/L.

d. Warna

Warna air buangan industri tekstil terutama disebabkan oleh sisa-sisa zat warna yang tidak terpakai dan juga berasal dari kotoran-kotoran yang berasal dari serat pakaian. Air buangan tekstil yang berwarna dapat menyebabkan penurunan kandungan oksigen dalam air. Penurunan kandungan oksigen dalam waktu yang lama membuat air berwarna hitam dan berbau.

e. pH

Fluktuasi pH yang sangat besar merupakan karakteristik negatif dari air buangan industri tekstil. Variasi pH ini terutama disebabkan oleh berbagai jenis warna yang digunakan pada proses pencelupan. Baku mutu limbah cair tekstil menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah untuk Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya pH dalam air buangan dari industri tekstil adalah sebesar 6 – 9.

2.3. Sistem Pengolahan Air Limbah

Sistem pengolahan air limbah tersusun dari metode unit operasi dan unit proses pengolahan yang terintegrasi sehingga mampu membentuk sebuah sistem pengolahan air limbah yang terpadu. Penyisihan polutan selama pengolahan tergantung pada konsep tahap pengolahan dan efisiensi dari tiap tahap pengolahan (von Sperling, 2005). Konsep dari unit operasi dan unit proses dapat disusun secara acak karena dapat dilakukan secara bergantian dengan susunan yang tepat dan disesuaikan dengan kegunaan serta konsep dari setiap unit yang digunakan (Metcalf dan Eddy, 1991). Jenis metode pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi tiga yaitu:

- a. Pengolahan fisik
Pengolahan fisik adalah metode pengolahan untuk mengolah fisik yang sangat dominan dan mudah terlihat dari air limbah. Contoh unit pengolahan fisik adalah penyaringan (*screening*), pengadukan (*mixing*), flokulasi, sedimentasi, pengapungan (*flotation*), dan filtrasi.
- b. Pengolahan biologis
Pengolahan biologis metode adalah pengolahan untuk menghilangkan polutan dengan bantuan bakteri atau mikroorganisme melalui aktivitas biologis seperti nitrifikasi, denitrifikasi, dan penghilangan zat-zat organik (BOD, COD, dll).
- c. Pengolahan kimiawi
Pengolahan kimiawi adalah metode pengolahan untuk mengonversi atau menghilangkan polutan dengan penambahan zat kimia maupun melalui proses kimiawi seperti presipitasi, adsorpsi, dan desinfeksi.

Menurut von Sperling (2005), pengolahan air limbah dibagi dalam beberapa tahap yaitu:

- a. Pra-pengolahan (*Pre-eliminary*)
Tahap pra-pengolahan adalah pengolahan untuk menghilangkan material dengan ukuran yang besar seperti sampah, timbunan, dan sebagainya.
- b. Pengolahan Primer
Pengolahan primer adalah pengolahan untuk menurunkan padatan tersuspensi dan zat-zat organik.
- c. Pengolahan Sekunder
Pengolahan sekunder adalah pengolahan untuk menurunkan parameter zat-zat organik terlarut.
- d. Pengolahan Tambahan
Pengolahan tambahan adalah pengolahan untuk mengolah parameter nutrient, bakteri penyakit atau patogen, logam, sisa-sisa padatan tersuspensi, dan sebagainya.

2.4. Pengolahan Biologis Air Limbah

Pengolahan biologis dalam sebuah sistem pengolahan terbagi dalam dua jenis, yaitu sistem terlekat (*attached growth*) dan

sistem sistem tersuspensi (*suspended growth*). Perbedaan dari kedua sistem ini adalah jenis media yang digunakan untuk tempat tumbuh mikroorganisme. Kelebihan dari sistem pengolahan biologis adalah dapat menurunkan parameter pencemar dalam jumlah yang besar sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengolah limbah relatif lebih lama. (Metcalf dan Eddy, 2004). Proses biologis dapat dilakukan pada kondisi aerobik, kondisi anaerobik, dan kombinasi dari keduanya. Proses aerobik umumnya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan karakteristik beban pencemar zat organik yang rendah, sedangkan proses anaerobik digunakan untuk mengolah air limbah yang memiliki beban pencemar zat organik yang lebih tinggi (Said, 2000).

2.5. Metode dan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil

Metode pengolahan limbah cair industri tekstil dapat dilakukan secara kimia, fisika, biologi ataupun gabungan dari ketiganya. Pengolahan secara kimia dilakukan dengan koagulasi, flokulasi dan netralisasi. Proses kimia menggunakan koagulasi dan flokulasi dilakukan dengan penambahan koagulan untuk menstabilkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi membentuk gumpalan yang dapat mengendap oleh gaya gravitasi. Proses gabungan secara kimia dan fisika seperti pengolahan limbah cair secara kimia (koagulasi) yang diikuti pengendapan lumpur. Pengolahan limbah cair secara fisika dapat dilakukan dengan cara adsorpsi, filtrasi, dan sedimentasi. Adsorpsi dilakukan dengan penambahan adsorban seperti karbon aktif atau sejenisnya. Filtrasi merupakan proses pemisahan zat padat dari zat cair melalui suatu alat penyaring (filter). Sedimentasi merupakan proses pemisahan padat-cair dengan cara mengendapkan partikel tersuspensi dengan adanya gaya gravitasi. Pengolahan limbah cair secara biologi adalah pemanfaatan aktivitas mikroorganisme menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah.

Dari ketiga cara pengolahan diatas masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pengolahan limbah cair secara kimia

akan menghasilkan lumpur dalam jumlah yang besar, sehingga menimbulkan masalah baru untuk penanganan lumpurnya. Oksidasi menggunakan ozon selain biaya tinggi juga tidak efektif untuk mereduksi sulfur yang ada didalam limbah. Penggunaan karbon aktif dalam pengolahan limbah yang mengandung zat warna menghasilkan persentase penurunan zat warna tinggi, tetapi harga karbon aktif relatif mahal dan juga akan menambah ongkos peralatan untuk regenerasi karbon aktif tersebut.

Proses pengolahan limbah cair secara biologi adalah salah satu alternatif pengolahan yang sederhana dan ekonomis. Pada proses ini tidak diperlukan bahan kimia seperti pada proses koagulasi sehingga biaya operasinya relatif lebih rendah. Pengolahan limbah cair secara biologi ini dapat dikategorikan pada pengolahan limbah secara anaerobik dan aerobik atau kombinasi keduanya. Namun sampai sekarang ini pengolahan dengan sistem lumpur aktif tidak efisien untuk menghilangkan warna dari effluen industri tekstil (Manurung dkk, 2004).

2.6. Metode Keseimbangan Massa

Keseimbangan massa (*mass balance*) digunakan untuk mempelajari karakteristik aliran hidrolis reaktor dan menggambarkan perubahan yang terjadi didalam reaktor. Konsep dasar dalam perhitungan keseimbangan massa menggunakan konsep kekekalan energi, yaitu energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi bisa berubah wujud. Prinsip dari keseimbangan massa pada proses pengolahan air limbah yaitu influen yang masuk kepengolahan akan sama dengan total effluennya (Metcalf dan Eddy, 2004). Rumus keseimbangan massa dapat dilihat pada Persamaan 2.1 dan 2.2.

$$dC_1V = QC_0dt - V_rdt - QC_1dt \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Akumulasi} = (\text{input}) - (\text{penurunan karena reaksi}) - (\text{out}) \dots (2.2)$$

Keterangan:

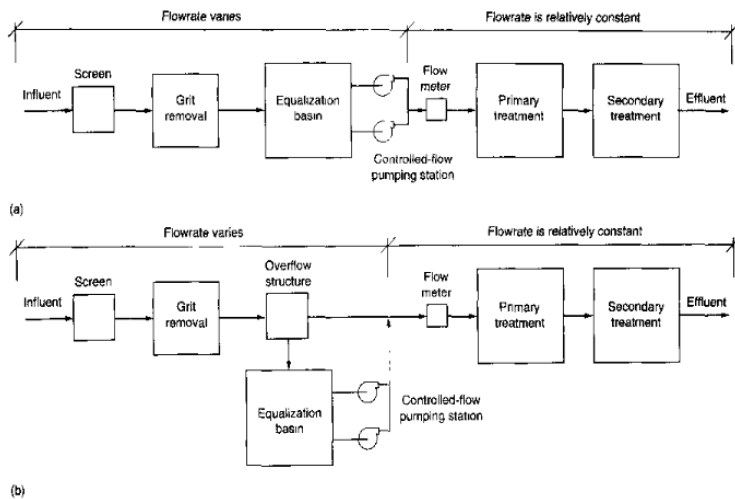
dC_1V : Akumulasi

C_0dt : Konsentrasi masuk (mg/L)

- Q : Debit (m^3/s)
 $V_r dt$: Penurunan karena reaksi/beban removal (mg/L)
 $C_1 dt$: Konsentrasi keluar (mg/L)

2.7. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan salah satu unit yang paling penting dalam sistem pengolahan air limbah. Unit ini terletak pada posisi pertama karena memiliki fungsi untuk menstabilkan debit air limbah yang masuk kedalam sistem IPAL sehingga debit yang masuk unit IPAL selanjutnya tetap konstan dan dapat beroperasi dengan baik. Bak ekualisasi memiliki dua macam yaitu tipe *in-line* dan *off-line equalization* (Metcalf dan Eddy, 2004). Skema dari kedua tipe bak ekualiasi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Macam-macam Sistem Bak Ekualisasi

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

2.8. Bak Koagulasi - Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi adalah salah satu metode yang digunakan untuk memulihkan air dan merupakan rangkaian pengolahan yang berkelanjutan. Koagulasi adalah proses pencampuran antara air yang akan diolah dengan penambahan zat kimia atau koagulan untuk mengikat polutan menggunakan bantuan pengadukan. Pengadukan yang terjadi dalam proses koagulasi memiliki 3 macam yaitu pengadukan secara hidrolis, mekanis, dan pneumatis. Flokulasi adalah proses pengikatan zat-zat pencemar oleh koagulan dan membentuk sebuah flok dengan bantuan pengadukan baik secara hidrolis maupun mekanis. Flok yang terbentuk akan mengendap secara gravitasi dan air yang dikeluarkan dari proses ini akan berwarna lebih cerah (Metcalf dan Eddy, 2004).

2.9. Bak Pengendapan

Bak pengendapan merupakan salah satu unit dalam pengolahan air limbah untuk mengendapkan partikel dengan cara memisahkan partikel tersuspensi dari air limbah maupun air bersih dengan menggunakan prinsip gravitasi untuk menurunkan atau mengendapkan padatan tersuspensi dalam kurun waktu tertentu (Reynolds, 1995). Kriteria desain yang digunakan untuk menghitung sebagai acuan perhitungan sehingga dapat mengoptimalkan unit untuk bekerja secara efektif dalam mengendapkan partikel tersuspensi.

2.10. Teknologi Biofilter dalam Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang didalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Untuk proses anaerobik dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen. Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara

umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk tali, bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur (*random packing*), bentuk papan (*plate*), bentuk sarang tawon dan sebagainya. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik misalnya batu pecah (*split*), kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara, dan lainnya (Kemenkes RI, 2011).

Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan “*air lift pump*”, dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media. Dalam proses biofilter dengan sistem aerasi merata, lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media mudah terlepas, sehingga seringkali proses menjadi tidak stabil. Tetapi pada sistem aerasi melalui aliran putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi dengan menggunakan *diffuser*, oleh karena itu untuk penambahan jumlah beban yang besar sulit dilakukan. Selain itu, pada penggunaan unit ini juga terdapat beberapa keunggulan yaitu:

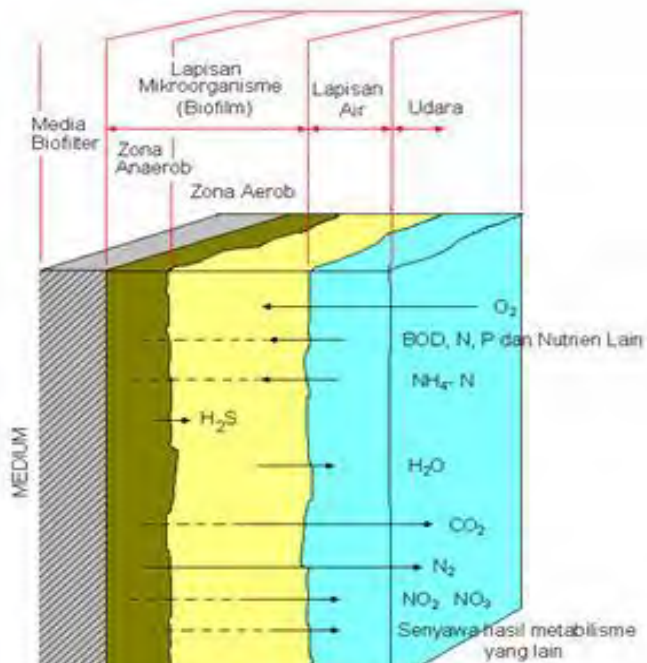
- a. Pengoperasian mudah
- b. Lumpur yang dihasilkan sedikit
- c. Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi yang tinggi maupun rendah
- d. Tahan terhadap fluktuasi debit/jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi
- e. Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil

Selain keunggulan yang dimiliki, berdasarkan penelitian Said (2002a), biofilter tercelup anaerobik-aerobik memiliki kemampuan yang cukup tinggi untuk menghilangkan zat pencemar. Kemampuan biofilter untuk removal BOD adalah sebesar 77-

94%, COD sebesar 73-94%, TSS sebesar 93-98%, dan warna sebesar 76-88%.

2.11. Prinsip Kerja Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik

Mekanisme proses metabolisme didalam sistem biofilter secara aerobik secara sederhana dapat diterangkan seperti pada Gambar 2.2. Gambar 2.2 menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari media penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada media, lapisan air limbah, dan lapisan udara yang terletak di luar. Senyawa pencemar yang terletak didalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD dan COD), ammonia, fosfor, dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen terlarut didalam air limbah senyawa pencemar tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa.

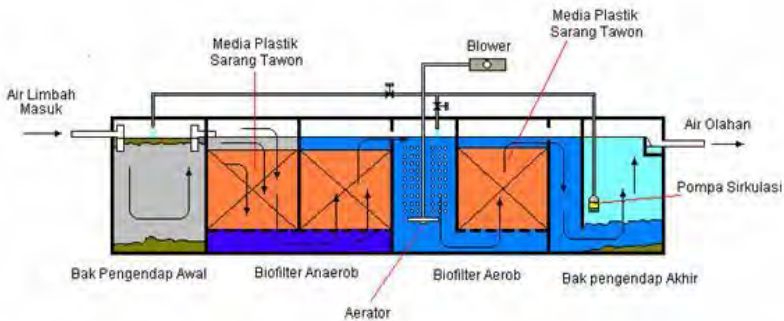


Gambar 2.2 Mekanisme Proses Metabolisme didalam Sistem Biofilter

(Sumber: Pedoman Teknis IPAL Kemenkes RI, 2011)

2.12. Proses Pengolahan Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob secara sederhana dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Pengolahan Pada Biofilter Kombinasi

(Sumber: Pedoman Teknis IPAL Kemenkes RI, 2011)

Pertama air limbah dialirkan masuk ke bak pengendap awal, untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik tersuspensi. Selain sebagai pengendapan, bak pengendap awal juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, pengurai lumpur (*sludge digestion*), dan penampung lumpur. Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke bak kontaktor anaerob dengan arah aliran dari atas ke bawah, dan dari bawah ke atas. Di dalam bak kontaktor anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau fakultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikroorganisme. Mikroorganisme ini akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.

Air limpasan dari bak kontaktor anaerob dialirkan ke bak biofilter aerobik. Didalam bak kontaktor aerob ini diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon, sambil diaerasi dengan udara sehingga mikroorganisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikroorganisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat

organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi, sehingga efisiensi penghilangan ammonia menjadi lebih besar.

Dari bak biofilter aerobik, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Didalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikro-organisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD dan COD), ammonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), fosphat, dan lainnya (Kemenkes RI, 2011).

2.13. Studi Terdahulu

Dalam perencanaan ulang yang melibatkan perencanaan desain dari biofilter tercelup anaerobik-aerobik diperlukan suatu kajian terhadap beberapa studi terdahulu untuk menguatkan dasar atau prinsip perencanaan. Studi terdahulu terkait teknologi pengolahan air limbah tekstil dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.2 Hasil Studi Terdahulu

Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
Nusa Idaman Said	2002	Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Tercelup Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon	Unit biofilter dengan media sarang tawon dapat digunakan untuk mengolah limbah cair industri tekstil. Persentase removal untuk BOD 77-94%, COD 73-94%, TSS 93-98%, dan warna 76-88%

Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
Arifani Rakhma Putri, dkk	2013	Penentuan Rasio BOD/COD Optimal Pada Reaktor Aerob, Fakultatif, dan Anaerobik	Rasio BOD/COD optimal pada proses anaerob adalah 0,1; untuk Fakultatif adalah 0,2; dan untuk anaerobik adalah 0,2.
Alessandro Spagni, et al.	2012	Decolourisation of Textile Wastewater in Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor	Pemecahan warna dapat mencapai 98% menggunakan reaktor biofilter tercelup dengan media filter berupa membran.
F. M. Amaral	2014	Colour, Organic Matter, and Sulfate Removal from Textile Effluents by Anaerobic and Aerobic Processes	Menggunakan reaktor UASB sebagai reaktor untuk kombinasi anaerob dan aerob tidak dapat menurunkan parameter dengan baik.

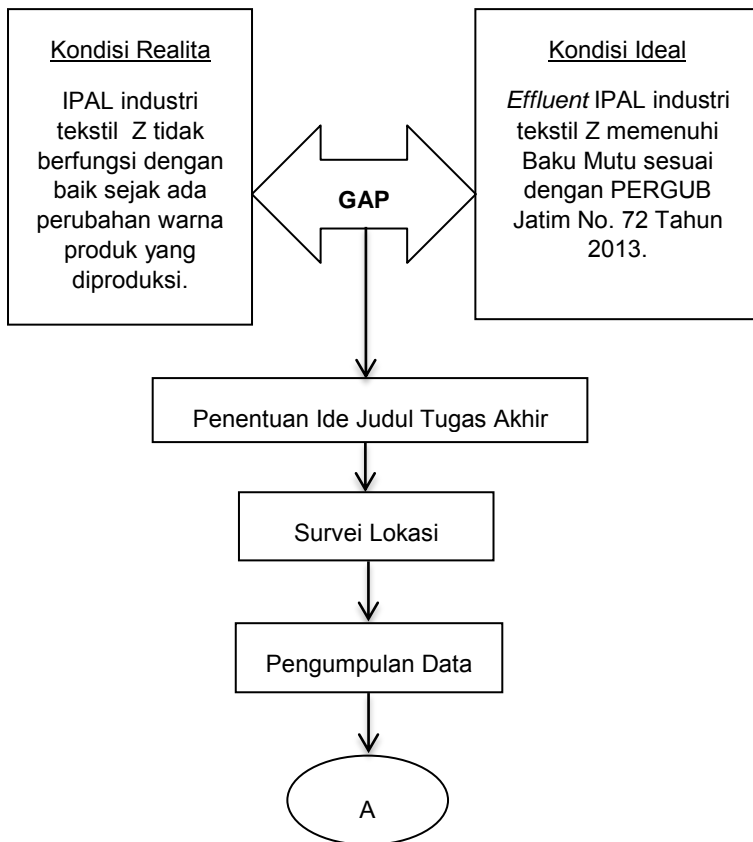
Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
J. Jacob	1994	Dynamic Simulation of Submerged Packed Biofilters in Wastewater Treatment Plants	Dapat menurunkan parameter tercemar dengan baik namun memiliki kendala adanya clogging.

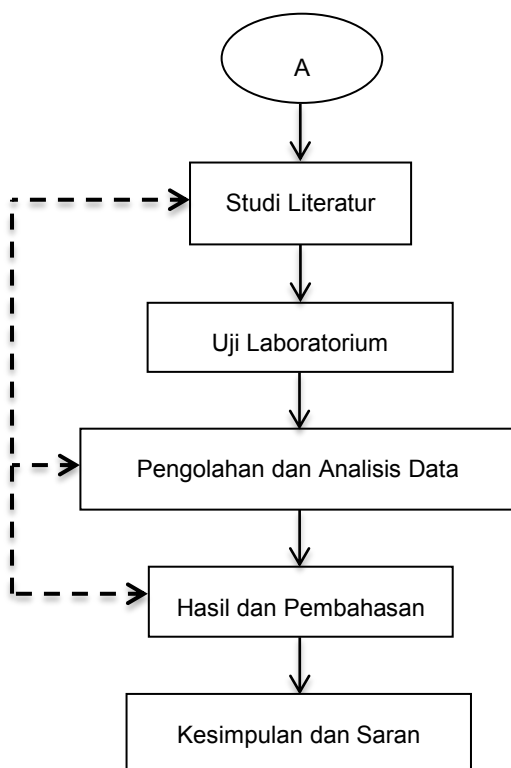
Sumber: Studi Literatur

BAB 3 METODOLOGI PERENCANAAN

3.1. Kerangka Perencanaan Tugas Akhir

Perencanaan tugas akhir evaluasi dan desain ulang IPAL industri tekstil Z terdiri dari beberapa tahapan. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Perencanaan Tugas Akhir

Penjelasan diagram alir kerangka perencanaan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Judul Ide Tugas Akhir

Tahap penentuan judul ide tugas akhir merupakan hasil dari pengamatan kondisi yang sedang terjadi pada IPAL industri tekstil Z dan melakukan perbandingan dengan kondisi ideal dimana limbah yang dibuang harus memenuhi baku mutu. Hasil perbandingan tersebut menimbulkan sebuah gap yang dijadikan sebagai ide untuk

melakukan pembenahan dengan menjadikan permasalahan yang ada sebagai judul tugas akhir.

2. Survei Lokasi

Tahap survei lokasi adalah tahap pengamatan lokasi objek perencanaan yang memiliki permasalahan terkait pengolahan air limbah. Objek perencanaan yang digunakan adalah industri tekstil Z dan akan dijelaskan lebih detail pada Bab 4.

3. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data adalah tahap untuk mengumpulkan data primer maupun sekunder yang mendukung evaluasi maupun perencanaan dari IPAL industri tekstil Z yang dijadikan sebagai objek. Data primer yang diperlukan antara lain:

- Gambaran umum IPAL industri tekstil Z.
- Desain awal/eksisting unit IPAL industri tekstil Z.
- Sampel air limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi industri tekstil Z..
- Hasil uji laboratorium sampel air limbah dari unit IPAL eksisting.

Data sekunder yang diperlukan antara lain:

- Arsip uji laboratorium sampel air limbah sebelumnya.
- Baku mutu yang berlaku (PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan/Usaha Lainnya pada bagian Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Tekstil).
- Data pengolahan limbah cair industri tekstil yang lain dan data-data penunjang lainnya.

4. Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap untuk menambah dan mendalami materi yang diperlukan dalam evaluasi serta perencanaan ulang terutama pada kriteria desain dari tiap unit IPAL eksisting yang digunakan beserta perhitungan desain, karakteristik air limbah, baku mutu yang berlaku,

proses pengolahan eksisting dan yang ideal, karakteristik limbah tekstil sejenis lainnya, dan sebagainya.

5. Uji Laboratorium

Tahap uji laboratorium adalah tahap untuk menguji dan menganalisis limbah cair yang dikeluarkan dari unit IPAL eksisting sebagai data primer untuk melakukan perhitungan evaluasi dan perencanaan ulang.

6. Pengolahan dan Analisis Data

Tahap pengolahan dan analisis adalah tahap untuk menghitung dan mengolah data hasil uji laboratorium dan data sekunder yang telah dikumpulkan, kemudian dijadikan sebagai bahan untuk pembahasan evaluasi dan perencanaan ulang.

7. Hasil dan Pembahasan

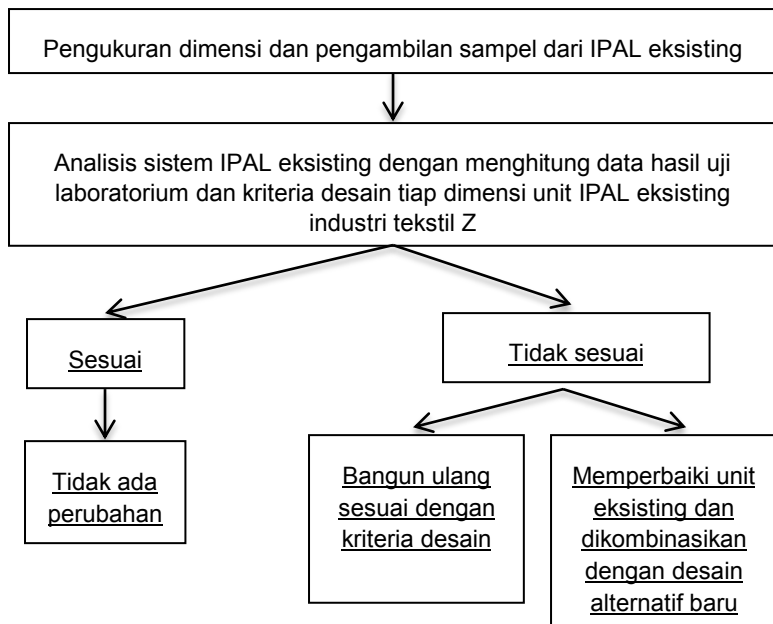
Tahap hasil dan pembahasan adalah tahap yang terdiri dari beberapa perhitungan yaitu: kualitas air limbah IPAL eksisting, persentase removal unit IPAL eksisting, perhitungan persentase removal unit alternatif, perencanaan perhitungan dimensi dari alternatif desain menggunakan biofilter tercelup anaerobik-aerobik, perhitungan rancangan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan alternatif desain, dan pembuatan gambar teknik desain unit.

8. Kesimpulan dan saran

Tahap kesimpulan dan saran adalah tahap untuk memaparkan hasil analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan dan diringkas dalam sebuah kesimpulan yang berisi hasil analisis dan saran atau rekomendasi.

3.2. Kerangka Evaluasi

Evaluasi IPAL eksisting dari unit IPAL dilakukan berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data. Tahap rekomendasi untuk memberi masukan kepada pihak industri tekstil Z dan dilakukan setelah melakukan analisa dan pengolahan data. Diagram alir kerangka evaluasi terdapat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Kerangka Evaluasi

Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir kerangka dalam melakukan evaluasi dari unit IPAL eksisting. Penjelasan dari tiap tahap dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Langkah pertama adalah melakukan pengukuran dimensi IPAL eksisting secara manual dengan mengukur tiap dimensi unit yang ada pada IPAL dan pengambilan sampel.
- Melakukan analisis data hasil uji laboratorium dari sampel yang telah diambil serta mengolah data hasil pengukuran dari dimensi tiap unit dan membandingkannya dengan kriteria desain yang berlaku bagi unit tersebut.

- c. Setelah melakukan pengolahan data, akan muncul pertanyaan, apakah sudah sesuai atau tidak sesuai. Jika sesuai, maka tidak akan ada perubahan atau penambahan pada sistem IPAL. Tetapi jika ada yang tidak sesuai, akan muncul dua opsi yaitu melakukan perbaikan dengan cara membangun ulang unit yang tidak sesuai dengan kriteria desain yang benar atau memperbaiki unit eksisting dan dikombinasikan dengan desain alternatif baru sesuai dengan baku mutu yang benar.

BAB 4

GAMBARAN UMUM OBJEK PERENCANAAN

4.1. Gambaran Umum Objek Perencanaan

Objek perencanaan adalah industri tekstil Z yang merupakan salah satu industri tekstil tua di Kota Surabaya. Industri tekstil Z berdiri sejak tahun 1959 dan berlokasi di suatu area kawasan industri dibagian barat daya Kota Surabaya, tepatnya di Kecamatan Karang Pilang. Industri tekstil Z termasuk dalam industri tekstil dibidang perajutan dan pencelupan hingga menjadi pakaian siap pakai. Industri tekstil Z melayani permintaan pasar berupa pakaian jadi dalam berbagai macam bentuk dan ukuran dengan tipe polos berwarna cerah seperti putih, kuning, jingga, biru muda, dan sebagainya sejak pertama kali berdiri tetapi saat ini industri tekstil Z juga memproduksi pakaian berwarna gelap. Pangsa pasar tertinggi dari produk yang dihasilkan oleh industri tekstil Z adalah toko-toko besar kaos kreatif di Pulau Bali.

4.2. Kondisi Eksisting IPAL Objek Perencanaan

Industri tekstil Z memiliki luas lahan total sebesar 7.000 m² dengan lahan IPAL seluas sekitar 300 m². Letak lahan IPAL berada dibelakang area industri dan berdekatan dengan Sungai Surabaya. IPAL dibangun sejak tahun 1980 dengan desain berupa unit bak ekualisasi. Pada tahun 2010, pihak industri tekstil Z melakukan pembenahan dengan menambahkan unit pengolahan biologis berupa tanki aerasi, tetapi hingga saat ini unit IPAL masih belum efektif untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan. Unit IPAL industri tekstil Z yang digunakan dalam sistem adalah sebagai berikut:

a. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah unit pertama dari outlet mesin pencelupan berfungsi sebagai penampung dan penyeimbang debit dan suhu limbah yang masuk

sebelum dialirkan menuju unit pengolahan selanjutnya. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bak Ekualisasi
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

b. Cooling Tower

Menara pendingin (*Cooling Tower*) adalah unit tambahan yang berfungsi untuk menurunkan suhu limbah yang masuk apabila suhu terlalu tinggi. Unit ini menjadi satu dengan bak ekualisasi. Cara operator melihat suhu air sudah memenuhi atau belum hanya dengan melihat apakah ada uap yang menguap saat berada di bak ekualisasi. Jika uap yang ditimbulkan terlalu banyak, maka limbah akan dipompa ke *cooling tower* untuk menstabilkan suhunya hingga mencapai sekitar 25-35°C. Jika limbah dirasa telah dingin atau suhunya memenuhi, maka limbah akan dipompa menuju unit berikutnya. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Cooling Tower
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

c. Bak Netralisasi

Bak netralisasi adalah unit yang digunakan sebagai penurun kadar pH limbah yang masuk dari bak ekualisasi. Tipikal dari limbah yang masuk adalah bersifat basa sehingga ditambahkan asam sulfat (H_2SO_4) untuk menurunkan pH menjadi netral dan aman untuk dilanjutkan ke tahap pengolahan biologis pada unit tanki aerasi. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Bak Netralisasi
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

d. Tanki Aerasi

Tanki aerasi merupakan unit pengolahan biologis pada IPAL industri tekstil Z. Unit ini dibangun pada tahun 2010 dan memiliki 8 aerator yang berjalan penuh selama 24 jam. Tanki aerasi berfungsi untuk mengaduk dan menurunkan semua kadar pencemar menggunakan bantuan bakteri dengan asumsi efisiensi removal yang tinggi. Namun saat ini, unit tidak dioperasikan dan beberapa aerator tidak dapat digunakan. Unit dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bak Tanki Aerasi
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

e. Bak Koagulasi - Flokulasi

Bak koagulasi-flokulasi berfungsi sebagai pengaduk untuk membentuk flok dan mengendapkannya secara gravitasi dengan bantuan pengadukan secara hidrolis. Koagulan yang digunakan adalah PAC. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Bak Koagulasi - Flokulasi
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

f. Bak Pengendapan Final

Bak pengendapan final adalah unit yang digunakan untuk mengendapkan semua partikel yang masih tersuspensi dan juga sebagai bak penampung sebelum air limbah yang dihasilkan dibuang ke Sungai Surabaya. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bak Pengendapan Final
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

- g. **Bak Pengendapan Flok**
 Bak pengendapan flok merupakan unit tambahan yang digunakan untuk mengendapkan flok-flok yang dihasilkan dari unit koagulasi-flokulasi. Proses pengendapan yang terjadi adalah flok-flok akan mengendap dengan sendirinya dalam waktu tertentu dan air dibagian permukaan akan mengalir ke pipa-pipa yang berada disekeliling unit berfungsi sebagai pelimpah akan disalurkan secara gravitasi menuju unit bak pengendapan final. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Bak Pengendapan Flok

(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

h. Bak Pengendapan Lumpur

Bak pengendapan lumpur adalah unit tambahan yang digunakan untuk mengendapkan biomassa yang dihasilkan dari tiap tanki aerasi. Biomassa yang terbentuk dialirkan lagi ke tanki aerasi sebagai *recycled sludge* menggunakan pompa. Unit ini tidak digunakan saat ini karena unit tanki aerasi tidak dioperasikan. Foto unit dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Bak Pengendapan Lumpur

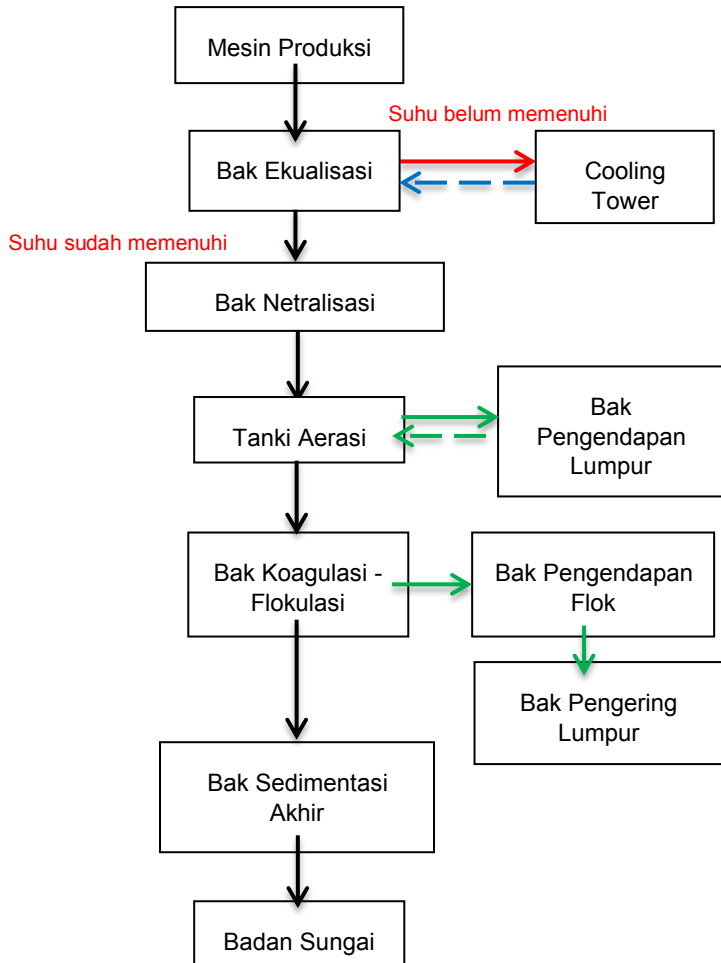
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

- i. **Bak Pengering Lumpur dan Flok**
Bak pengering lumpur merupakan unit tambahan. Bak ini digunakan untuk menjemur lumpur maupun endapan yang dihasilkan dari bak pengendapan flok dan sedimentasi akhir dengan menggunakan pompa. Hasil dari pengeringan ini disatukan lalu diangkut oleh pihak ketiga untuk dibuang. Unit dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Bak Pengering Lumpur
(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

Beberapa penjelasan dari tiap unit diatas dapat disederhanakan dalam sebuah diagram alir dari IPAL yang digunakan oleh industri tekstil Z. Diagram dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Diagram Alir IPAL Awal

(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB 5

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Perhitungan Debit Air Limbah IPAL

Debit adalah hal yang paling utama dalam menentukan perencanaan sebuah unit. Debit air limbah yang digunakan dalam perencanaan ini adalah debit eksisting dari mesin pencelupan yang digunakan. Industri tekstil Z memiliki 6 buah unit mesin yang digunakan untuk proses pencelupan dan air buangan produksi dibuang langsung menuju IPAL. Setiap mesin memiliki kapasitas air yang berbeda. Kapasitas mesin dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kapasitas Mesin dan Debit Air Limbah yang Dikeluarkan

Mesin	Kapasitas mesin (Liter air)	Jumlah pemakaian mesin (maksimum)	Total debit yang dikeluarkan (L/hari)
1	2.500	6	15.000
2	3.000	6	18.000
3	2.000	6	12.000
4	2.000	6	12.000
5	1.500	6	9.000
6	2.500	6	15.000
Total			81.000

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan

Berdasarkan Tabel 5.1 dapat diketahui bahwa IPAL industri tekstil Z memiliki debit sebesar 81.000 Liter/hari atau sekitar 81 m³/hari. Perhitungan lebih rinci dari debit yang dikeluarkan dapat dilihat pada contoh perhitungan debit dari salah satu mesin dibawah ini:

Kapasitas mesin 1 (Kp_1) = 2.500 L

Jumlah pemakaian mesin (n) = 6 kali

$$\begin{aligned}
 \text{Debit mesin 1} &= Kp_1 \times n \\
 &= 2.500 \times 6 \\
 &= 15.000 \quad \text{L/hari} \\
 &= 15 \quad \text{m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas adalah salah satu contoh perhitungan debit yang dikeluarkan oleh mesin 1 dan didapatkan debit limbah yang masuk kedalam IPAL. Total debit yang masuk kedalam IPAL dihitung dengan langkah yang sama dan dilakukan penjumlahan debit yang dikeluarkan dari tiap mesin yang digunakan, sehingga didapatkan total debit air limbah yang masuk dalam sistem IPAL industri tekstil Z adalah sebesar 81 m³/hari.

5.2. Karakteristik Air Limbah IPAL

Karakteristik air limbah yang digunakan dalam evaluasi dan perencanaan ulang adalah air limbah buangan proses produksi yang berasal dari mesin produksi. Sampel diambil pada outlet mesin kemudian diuji di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Hasil uji laboratorium sampel dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Uji Laboratorium Karakteristik Air Limbah IPAL Industri Tekstil Z

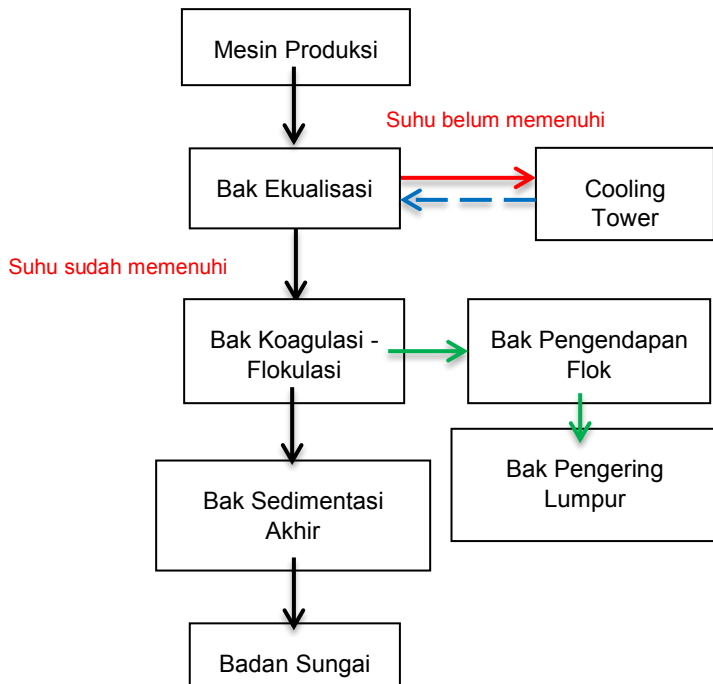
Parameter	Nilai	Satuan
pH	10,6	-
TSS	364	mg/L
Warna	130	PtCo
COD	2.645	mg/L
BOD	1.640	mg/L

Sumber: Hasil Uji Laboratorium

Hasil uji laboratorium menyimpulkan bahwa limbah yang dihasilkan kegiatan produksi bersifat basa, memiliki kadar COD, BOD, dan TSS yang tinggi.

5.3. Analisis dan Evaluasi IPAL Eksisting

Analisa dan evaluasi IPAL eksisting industri tekstil Z dilakukan dengan cara mengukur dimensi eksisting tiap unit yang ada pada sistem pengolahan IPAL industri tekstil Z lalu dibandingkan dengan kriteria desain dari tiap unit. Diagram alir sistem IPAL industri tekstil Z yang digunakan saat ini dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Diagram Alir Sistem IPAL Saat Ini

(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

Gambar 5.1 menunjukkan ada perubahan pada sistem pengolahan IPAL yang digunakan untuk mengolah air limbah, sehingga dalam evaluasi ini akan dibahas perhitungan dari tiap unit yang digunakan dalam sistem IPAL yang digunakan saat ini. Analisis dan evaluasi dari tiap unit dapat dilihat pada Subbab 5.3.1 hingga Subbab 5.3.8.

5.3.1 Proses Sistem IPAL Eksisting

Sistem pengolahan IPAL eksisting industri tekstil Z menggunakan sistem pengolahan yang terdiri dari kombinasi pengolahan fisik, kimiawi, dan biologis. Pembagian unit IPAL eksisting industri tekstil Z berdasarkan jenis pengolahannya adalah sebagai berikut:

- a. Pengolahan Fisik
Unit pengolahan fisik meliputi:
 - Menara pendingin (*cooling tower*)
 - Bak pengendap flok
 - Bak pengendap final
- b. Pengolahan Biologis meliputi unit tanki aerasi
- c. Pengolahan kimiawi meliputi unit koagulasi-flokulasi dan netralisasi

Menurut von Sperling (2005), konsep pengolahan limbah yang baik adalah pengolahan yang dilakukan secara berurutan dari proses pengolahan primer yaitu proses fisik dan dilanjutkan dengan pengolahan tahap selanjutnya dengan proses biologis atau proses kimiawi maupun kombinasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan kemampuan dari tiap unit dalam menghilangkan zat pencemar dalam air limbah. Sistem IPAL eksisting industri tekstil Z sudah memiliki konsep dan unit pengolahan yang cukup bagus tetapi air buangan IPAL masih memiliki permasalahan karena tidak urutnya unit dalam sistem pengolahan. Hal ini dapat diketahui dari diagram alir sistem pengolahan IPAL (Gambar 4.10) dimana setelah bak ekualisasi pengolahan langsung dilanjutkan ke pengolahan biologis menggunakan tanki aerasi dan bakteri. Kinerja pengolahan biologis kurang maksimal karena beban yang masuk kedalam pengolahan biologis terlalu tinggi sehingga kurang efektif dan efisien. Sedangkan untuk sistem pengolahan saat pengambilan

sampel (Gambar 5.1), air sampel yang dihasilkan tidak memenuhi baku mutu karena kurangnya tahap pengolahan dan desain unit yang tidak sesuai dengan kriteria desain. Perhitungan untuk tiap desain unit yang dibandingkan dengan kriteria desain dapat dilihat pada subbab berikutnya.

5.3.2 Operasional IPAL Eksisting

Operasional IPAL eksisting dilakukan oleh seorang teknisi yang memiliki kerja ganda di industri tekstil Z dan seorang manajer yang bertanggung jawab terhadap pengoperasian IPAL dan pembelian bahan-bahan kimia seperti PAC, bakteri tanki aerasi, asam sulfat bak netralisasi, dan sebagainya. Sistem IPAL industri tekstil Z menggunakan beberapa peralatan seperti pompa, aerator, dan mixer. Pompa digunakan untuk mengalirkan air limbah ke masing-masing unit sedangkan mixer digunakan untuk mengaduk PAC dalam sebuah drum untuk membentuk koagulan.

a. IPAL eksisting awal

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara pada bulan Desember 2015, Sistem IPAL awal (Gambar 4.10) menghasilkan effluen yang berwarna pekat. Pihak operator melakukan pengolahan menggunakan semua unit tetapi effluent tetap berwarna pekat, sehingga operator memutar kembali proses pengolahan sebanyak 2-3 kali. Dari kejadian ini, penyebab yang dapat diamati adalah kesalahan pada sistem pengolahan dan bakteri yang digunakan tidak dapat bekerja secara maksimal karena tidak diketahui karakteristiknya serta beban yang diterima terlalu berat karena tidak pengolahan untuk menurunkan parameter pencemar sebelum masuk ke tanki aerasi. Selain itu, terdapat permasalahan juga pada beberapa aerator yang tidak dijalankan sehingga transfer oksigen kurang maksimal. Untuk hasil pengolahan, tidak ada data kualitas effluen yang didapatkan pada saat kegiatan pengamatan.

b. IPAL eksisting saat ini

Pengamatan IPAL dilakukan pada akhir bulan Maret 2016. Hasil pengamatan adalah adanya perubahan sistem pengolahan yang digunakan yaitu tidak dipakinya unit bak netralisasi dan tanki aerasi karena limbah yang dihasilkan terlalu sedikit dan bakteri yang digunakan sudah lama mati karena tidak adanya limbah yang masuk. Limbah ditampung didalam bak ekualisasi selama 18 jam kemudian baru dipompa menuju bak koagulasi-flokulasi tanpa ada pengolahan apapun. Kemudian limbah dialirkan dalam *baffled channel* lalu dialirkan ke bak pengendap flok dan dibawa ke bak pengendap final. Berdasarkan analisis, operasional kurang bagus karena PAC yang dibuat masih tidak diketahui kadarnya dan hasil effluen yang dikeluarkan tidak memenuhi baku mutu (dapat dilihat pada Tabel 5.12).

5.3.3 Unit Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan salah satu unit yang sangat penting untuk menampung air limbah yang dibuang oleh mesin produksi dan menjaga kestabilan dari fluktuatifnya debit maupun konsentrasi yang masuk ke sistem IPAL. Unit ini akan dievaluasi dengan menggunakan kriteria desain berdasarkan penelitian dari Said (2002b). Kriteria desain dari bak ekualisasi terdapat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Kriteria Desain Bak Ekualisasi

Parameter	Range	Unit	Tipikal
Td	4 - 8	jam	5
Tinggi Bak	<4	meter	-

Sumber: Said, 2002b

Kriteria desain diatas dapat digunakan sebagai alat pembanding apakah unit telah memenuhi kriteria desain atau tidak. Unit bak ekualisasi pada sistem IPAL eksisting memiliki dimensi sebagai berikut:

- Panjang bak = 10,6 meter
- Lebar bak = 5 meter
- Kedalaman air dalam bak = 1,8 meter

- Free board = 20 cm
- Tinggi bak = 2 meter

Setelah diketahui dimensi unit maka dapat dilakukan perhitungan evaluasi dengan menghitung dimensi dan dibandingkan dengan kriteria desain. Perhitungan adalah sebagai berikut:

Diketahui		
Q_{in}	=	0,94 L/s
$[BOD_{in}]$	=	1.640 mg/L
$[COD_{in}]$	=	2.645 mg/L
$[TSS_{in}]$	=	364 mg/L
Jumlah unit	=	1 bak
Waktu tinggal (td)	=	18 jam
Tinggi bak (H_{bak})	=	2 m

Cek Dimensi Kondisi Eksisting		
Panjang bak (P_{bak})	=	10,6 m
Lebar bak (L_{bak})	=	5 m
Tinggi bak (H_{bak})	=	2 m
Tinggi air (H_{air})	=	1,8 m
Luas permukaan bak (A_s)	=	$P_{bak} \times L_{bak}$
	=	$10,6 \times 5$
	=	53 m ²
Luas penampang bak (A_x)	=	$L_{bak} \times H_{bak}$
	=	5×2
	=	10 m ²
Volume bak eksisting ($V_{bak\ eks}$)	=	$P_{bak} \times L_{bak} \times H_{bak}$
	=	$10,6 \times 5 \times 2$
	=	95,4 m ³
Cek waktu tinggal (td)	=	$(V_{bak\ eks} / Q_{in}) \times 24 \text{ jam}$

$$= (95,4 / 81) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 28,27 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa unit bak ekualisasi IPAL eksisting *over design* karena unit eksisting memiliki nilai waktu tinggal (td) lebih dari 4 jam yaitu sekitar 28,27 jam. Rekomendasi untuk bak ekualisasi adalah adanya perbaikan pada unit dengan membangun ulang berdasarkan hasil perhitungan yang telah sesuai dengan kriteria desain seperti berikut:

Perhitungan Ideal dengan Kriteria Desain		
Waktu tinggal ideal (Td)	= 8	jam
Tinggi Air (H _{air})	= 1,8	meter
Freeboard (F _b)	= 0,2	meter
Tinggi bak (H _{bak})	= Tinggi Air + Freeboard	
	= 1,8 + 0,2	
	= 2	meter
Volume efektif (V _{efektif})	= (Td / 24 jam) x Q _{in}	
	= (8 / 24) x 81	
	= 27	m ³
Luas permukaan (A _{s efektif})	= V _{efektif} / H _{air}	
	= 27 / 1,8	
	= 15	m ²
Rasio P _{bak} : L _{bak}	= 2 : 1	
Lebar bak (L _{bak})	= (A _s / 2) ^{0,5}	
	= (15 / 2) ^{0,5}	
	= 2,75	m
Panjang bak (P _{bak})	= L _{bak} x 2	
	= 2,6 x 2	
	= 5,5	m

Perhitungan hasil evaluasi dan rekomendasi bak ekualisasi dapat disederhanakan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Analisa Unit Bak Ekualisasi

Dimensi Unit Eksisting		Kriteria Desain	Keterangan	Dimensi Ideal
Panjang bak	= 10,6 m	-	-	5,2 m
Lebar bak	= 5 m	-	-	2,6 m
Tinggi bak	= 2 m	< 4 m	sesuai	2 m
Td	= 28,27 jam	4 - 8 jam	tidak sesuai	8 jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Bak ekualisasi yang direncanakan tidak memiliki kemampuan untuk menghilangkan parameter TSS, BOD, COD dan warna sehingga tidak ada perubahan karakteristik dari kualitas parameter yang dikeluarkan. Detail gambar dapat dilihat pada Lampiran C.

5.3.4 Unit Bak Koagulasi - Flokulasi

Bak koagulasi-flokulasi merupakan unit pengolahan kedua pada sistem IPAL eksisting yang digunakan saat ini untuk membentuk flok dari pencampuran dengan bahan koagulan. Koagulan yang digunakan pada tabung koagulasi adalah *polymer Aluminium Chloride (PAC)*. Dosis PAC yang digunakan adalah sebanyak 10 kg PAC dengan campuran air sebanyak 200 liter. Pencampuran koagulan dilakukan didalam tabung dengan volume 225 liter. Didalam tabung, PAC dicampur dengan air dan diaduk sedemikian rupa dengan kecepatan sekitar 500/detik. Air dengan campuran koagulan dikeluarkan melalui sebuah pipa didasar tabung lalu dibuka dengan kran (*valve*) yang terletak diantara celah *baffle* bak flokulasi.

Bak flokulasi berbentuk persegi panjang dengan *baffle* yang memiliki konsep *horizontal hydraulic slowmix*. Dimensi dari unit ini adalah seperti berikut :

- Panjang bak = 6,6 meter
- Tinggi bak = 0,5 meter
- Lebar bak = 1,7 meter

Kriteria desain yang digunakan untuk menganalisa dan mengevaluasi adalah kriteria desain dari SNI 6774-2008. Kriteria desain yang digunakan terdapat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Kriteria Desain Bak Flokulasi**Kriteria Desain Bak Flokulasi - Clarifier**

Parameter	Interval	Unit
Waktu kontak (td)	30 - 45	menit
Kec. Gradien (G)	60 - 5	/detik
Tahap flokulasi	6 - 10	buah

Sumber: SNI 6774-2008

Setelah diketahui dimensi dari unit, dapat dihitung dan dilakukan pengecekan terhadap unit dengan membandingkan pada kriteria desain pada Tabel 5.5. Hasil evaluasi dapat disimpulkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Analisa dan Evaluasi Bak Flokulasi

Parameter	Unit Eksisting	Kriteria Desain	Unit	Ket
Waktu kontak	35	30 - 45	menit	sesuai
Kec. Gradien (G)	50	60 - 5	/detik	sesuai
Tahap flokulasi	7	6 - 10	buah	sesuai

Sumber: Hasil Survei Lapangan dan Perhitungan

Tabel 5.6 menunjukkan bahwa unit memenuhi kriteria desain, sehingga rekomendasi unit ini adalah tetap digunakan dan dikombinasikan dengan unit lainnya. Detail gambar dapat dilihat pada Lampiran C.

5.3.5 Unit Bak Pengendap Flok

Bak pengendap flok merupakan unit ketiga dalam sistem IPAL industri tekstil Z yang berfungsi untuk mengendapkan flok yang dihasilkan dan kemungkinan masih terbawa dari bak flokulasi. Kriteria desain dari unit pengendap flok ini mengacu pada SNI 6774-2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Kriteria Desain Bak Pengendap Flok

Parameter	Interval	Satuan
Beban Permukaan	3,8 – 7,5	m ³ /m ² .jam
Tinggi Bak	3 – 6	meter

Waktu tinggal (td)	< 0,07	jam
Kec. pada tabung (v_{utab})	< 0,15	m/menit

Sumber: SNI 6774-2008

Perhitungan evaluasi bak pengendap flok adalah sebagai berikut:

Diketahui		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	m^3/hr
Panjang bak (P_{bak})	= 2,3	m
Lebar bak (L_{bak})	= 1,55	m
Tinggi bak (H_{bak})	= 1,6	m
Suhu air (T)	= 25	$^{\circ}\text{C}$
Jumlah bak (n)	= 2	buah
Jumlah tabung tiap bak	= 1	buah
Perhitungan Unit		
Debit tiap bak (Q_{bak})	= Q_{in} / n = $81 / 2$ = 40,5	m^3/hr
Luas Permukaan (A_s)	= $P_{\text{bak}} \times L_{\text{bak}}$ = $2,3 \times 1,55$ = 3,57	m^2
Luas Penampang (A_x)	= $L_{\text{bak}} \times H_{\text{bak}}$ = $1,7 \times 0,5$ = 51,11	m^2
Diameter tabung (D_{tab})	= 0,6	meter
Luas Permukaan (A_{tab})	= $1/4 \times \pi \times D_{\text{tab}}^2$ = $1/4 \times \pi \times 0,6 \times 0,6$ = 0,28	m^2
Tinggi tabung (H_{tab})	= 0,8	meter
Volume tabung (V_{tab})	= $A_{\text{tab}} \times H_{\text{tab}}$ = $0,28 \times 0,8$ = 0,23 = 226,08	m^3 liter

$$\begin{aligned}
\text{Waktu tinggal tabung (td}_{\text{tab}}) &= V_{\text{tab}} / Q_{\text{tab}} \\
&= 0,23 / 40,5 \\
&= 0,134 \quad \text{jam} \\
\text{Kec. dalam tabung (v}_{\text{tab}}) &= Q_{\text{bak}} / A_{\text{tab}} \\
&= (81/86.400) / 0,28 \\
&= 0,20 \quad \text{m/menit} \\
\text{Beban Permukaan (OLR)} &= Q_{\text{in}} / A_s \\
&= 40,5 / 0,28 \\
&= 5,97 \quad \text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan unit bak pengendap flok dapat disederhanakan dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Perhitungan dan Perbandingan Kriteria Desain Bak Pengendap Flok

Dimensi Unit Eksisting		Kriteria Desain	Ket.
Beban Permukaan	= 5,97	3,8 – 7,5 m ³ /m ² .jam	sesuai
Tinggi Bak	= 1,6 m	3 – 6 m	tidak
Waktu tinggal (td)	= 0,13 jam	< 0,07 jam	tidak
Kec. Pada tabung	= 0,2 m/mnt	< 0,15 m/menit	tidak

Sumber: Hasil Survei Lapangan dan Perhitungan

Tabel 5.8 menunjukkan bahwa unit tidak memenuhi kriteria desain karena tidak sesuai pada ukuran tinggi unit, waktu tinggal, dan kecepatan air dalam tabung pada unit. Rekomendasi dari evaluasi ini adalah melakukan pembongkaran karena tidak efektif dan memiliki fungsi yang sama dengan unit bak pengendap final. Detail gambar dapat dilihat pada Lampiran C.

5.3.6 Unit Bak Pengendapan Final

Bak pengendapan final merupakan unit pengolahan terakhir pada sistem IPAL eksisting yang digunakan untuk menampung dan mengendapkan parameter air limbah yang terkandung didalamnya. Unit ini merupakan unit berbentuk persegi panjang. Kriteria desain yang digunakan untuk menganalisa dan mengevaluasi adalah kriteria desain dari Metcalf dan Eddy (2004). Kriteria desain yang digunakan ada pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Kriteria Desain Bak Pengendapan

Parameter	Interval	Unit
waktu tinggal (td)	1,5 - 2,5	jam
Beban Permukaan (OFR)	0,8 - 2,5	m ³ /m ² .jam
Beban Pelimpah (weir)	< 11	m ³ /m/jam
Kedalaman (H)	3 - 6	m
Bilangan Reynold	< 11	-
Bilangan Fraude	< 11	-

Sumber: SNI 6774-2008

Evaluasi untuk unit bak pengendapan final ini dilakukan dengan membandingkan dimensi unit eksisting dengan kriteria desain. Berikut perhitungan dari evaluasi unit bak pengendapan final:

	Perhitungan	
Q_{in}	= 81	m ³ /hari
Panjang bak (P_{bak})	= 6,6	m
Lebar bak (L_{bak})	= 3,05	m
Luas Permukaan (A_s)	= $P_{bak} \times L_{bak}$ = 6 x 3,05 = 20	m ²
Overflow Rate (OFR)	= Q_{in} / A_s = 81 / 20 = 4,02	m ³ /m ² .hari
Tinggi bak (H_{bak})	= 1,8	m
Luas Penampang (A_x)	= $L_{bak} \times H_{bak}$ = 3,05 x 1,8 = 5,5	m ²
Volume Bak (V_{bak})	= $P_{bak} \times L_{bak} \times H_{bak}$ = 6 x 3,05 x 1,8 = 36,23	m ³
Cek Td	= V_{bak} / Q_{in} = 36,23 / 81	

$$= 10,74 \quad \text{jam}$$

Hasil perhitungan dimensi unit bak pengendap final menunjukkan bahwa unit tidak memenuhi kriteria desain sehingga perlu dilakukan perencanaan ulang dan disesuaikan dengan kriteria desain. Perhitungan unit adalah sebagai berikut:

BAK PENGENDAP FINAL

Diketahui

Q_{in}	= 81	m^3/hari
Suhu air (T)	= 28	$^{\circ}\text{C}$
Sg	= 1,02	gr/cm^3
Vis. kinematis (vk)	= 0,89	m^2/s
densitas	= 997,07	kg/m^3

Direncanakan

Waktu tinggal (td)	= 1,5	jam
	= 5.400	detik
OFR	= 0,8	$\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$
P : L	= 2 : 1	
Kedalaman (H)	= 3	m

Perhitungan

Luas Permukaan (A_s)	= Q_{in} / OFR	
	= $81 / 0,8$	
	= 4,22	m^2
Lebar Bak (L)	= $(A_s / 2)^{0.5}$	m
	= $(4,22 / 2)^{0.5}$	
	= 1,45	meter
Panjang Bak (P)	= $2 \times L$	m
	= $2 \times 1,45$	
	= 2,9	
Luas Penampang (A_x)	= $L \times H$	
	= $1,45 \times 3$	
	= 4,36	m^2
Volume	= $P \times L \times H$	

	= $2,9 \times 1,45 \times 3$	
	= 12,66	m^3
	Cek OFR	
OFR	= Q_{in} / A_s	
	= $81 / 4,22$	
	= 1	$m^3/m^2 \cdot \text{hari}$
	Cek Kecepatan Scouring	
Vs	= Q_{in} / A_x	
	= $81 / 4,36$	
	= 18,59	m/s
ϕ partikel (dp)	= 12,34	mm
Vscouring	= 5,08	m/s
Vh	= Q_{in} / A_s	
	= $81 / 4,22$	
	= 0,8	m/s
kesimpulan	= memenuhi	
	Reynold	
Jari Hidrolis (R)	= 0,58	m
Nre	= $((Vs \times (dp/1000)) / \nu_k$	
	= 0,26	
Nre aliran	= $(Vh \times R) / \nu_k$	
	= 1	
Nfr	= $Vh^2 / g \times R$	
	= 0,11	
	Perforated Baffle	
	Direncanakan	
letak	= 0,5	m depan inlet
ϕ lubang	= 0,1	m
P baffle	= 1,45	m
h baffle	= 3	m
tebal baffle	= 0,2	m
	Perhitungan	
A baffle	= $P \times h \text{ baffle}$	
	= $1,45 \times 3$	

	= 4,36	m ²
Luas total lubang	= 0,6 x A baffle	
	= 2,61	m ²
luas tiap lubang	= 3,14 x r x r	
	= 0,0079	m ²
jml lubang (n)	= Luas total lubang / luas tiap lubang	
	= 2,09 / 0,0079	
	= 333	buah
jarak antar lubang	= P / (n+1)	
	= 1,45 / (333 + 1)	
	= 0,004	m
Q lubang	= Q _{in} / n	
	= 81 / 333	
	= 0,24	m ³ /detik
jml. Lubang hor	= (P - jarak) / (diameter + jarak)	
	= (1,45 - 0,0004) / (0,1 + 0,004)	
	= 13	buah
jml. Lubang ver	= (H - jarak) / (diameter + jarak)	
	= (3 - 0,0004) / (0,2 + 0,0004)	
	= 28	buah
Cek Nre	= (Q _{lubang} / (3,14 x diameter) / vk	
	= 0,3 / (3,14 x 0,1) / 0,893	
	= 1	
Cek NFr	= Vh ² / gR	
	= 3,95	

Ruang Lumpur Diketahui

Q lumpur tiap bak	= 0,5	m ³ /hari
Panjang atas (P _{atas})	= 2,9	m
Panjang bawah (P _{bawah})	= 1	m
Lebar atas (L _{atas})	= 1,45	m
Lebar bawah (L _{bawah})	= 0,75	m

Direncanakan

Pengurasan	= 1	hari
	= 24	jam

Perhitungan

V. Ruang Lumpur	= $Q_{in} \times \text{pengurasan}$	
	= $0,1 \times 1$	
	= 0,1	m^3
Luas Atas (A_{atas})	= $P_{atas} \times L_{atas}$	
	= $2,9 \times 1,45$	
	= 4.22	m^2
Luas bawah (A_{bawah})	= $P_{bawah} \times L_{bawah}$	
	= $1 \times 0,75$	
	= 0,75	m^2
Tinggi (H)	= 0,3	m

Weir

Direncanakan

Weir Loading	= 6,25	$m^3/m.jam$
--------------	--------	-------------

Perhitungan

Panjang Total	= $Q_{in} / \text{weir loading}$	
	= $(81 / 24) / 6,25$	
	= 0,54	m
Lebar Gutter	= 0,1	m
Jumlah Weir	= Panjang Unit / Panjang total	
	= $2,9 / 0,54$	
	= 5	buah
	= $(Q_{in} / (\text{lebar gutter} \times 1,84))^{2/3}$	
Tinggi air gutter	= $(81 / 0,1 \times 1,84)^{2/3}$	
	= 0,32	m
	= 32,3	cm
	= 0,07	m
Tinggi air weir	= 7,13	cm

Dimensi unit bak pengendap final yang dimiliki sekarang memiliki persentase removal seperti pada perhitungan dibawah ini:

**% Removal
BOD**

$$\begin{aligned}
 t &= 1,5 \text{ jam} \\
 a &= 0,018 \\
 b &= 0,02 \\
 \text{BOD Removal} &= t / (a + bt) \\
 &= 1,5 / (0,018 + (0,02 \times 2)) \\
 &= 31,25 \%
 \end{aligned}$$

TSS

$$\begin{aligned}
 t &= 1,5 \text{ jam} \\
 a &= 0,0075 \\
 b &= 0,014 \\
 \text{BOD Removal} &= t / (a + bt) \\
 &= 1,5 / (0,0075 + (0,014 \times 2)) \\
 &= 52,63 \%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.10 Perhitungan dan Perbandingan Kriteria Desain Bak
Pengendap Final**

Dimensi Unit Eksisting		Kriteria Desain	Ket	Dimensi Ideal
Panjang Bak	= 6,6 meter	-	-	2,9
Lebar Bak	= 3,05 meter	-	-	1,45
Tinggi Bak	= 1,8 meter	3 - 6	Tidak	3
waktu tinggal	= 10,74 jam	1,5 - 2,5	Tidak	1,5
OFR	= 4 m ³ /m ² jam	0,8 - 2,5	Tidak	1

Sumber: Hasil Survei Lapangan dan Perhitungan

Detail gambar dapat dilihat pada Lampiran C.

5.3.7 Keseimbangan Massa

Keseimbangan massa merupakan salah satu aspek penting dalam sebuah evaluasi dimana dapat digunakan sebagai salah satu tolak ukur untuk mengetahui berapakah massa dari tiap parameter pencemar yang dikeluarkan oleh tiap unit IPAL.

Perhitungan kesetimbangan massa dilakukan berdasarkan persentase dapat dilihat dibawah ini:

a. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan unit yang tidak memiliki persentase removal karena hanya berfungsi sebagai penampung dan penghomogen debit air limbah yang masuk (Metcalf dan Eddy, 2004). Perhitungan kualitas parameter pencemar yang masuk dan dikeluarkan dari unit bak ekualisasi adalah sebagai berikut:

Bak Ekualisasi		
TSS		
Q_{in}	= 81	m^3/hr
$[TSS_{in}]$	= 364	mg/L
%removal	= 0%	%
Massa TSS_{in}	= $([TSS_{in}] \times Q_{in}) / 1000$ = $(364 \times 81) / 1000$ = 29,48	kg/hr
Massa TSS_{rem}	= Massa $TSS_{in} \times \%removal$ = $29,48 \times 0\%$ = 0	kg/hr
Massa TSS_{out}	= Massa $TSS_{in} - \text{Massa } TSS_{rem}$ = $29,48 - 0$ = 29,48	kg/hr
BOD		
Q_{in}	= 81	m^3/hr
$[BOD_{in}]$	= 1.640	mg/L
%removal	= 0%	%
Massa BOD_{in}	= $([BOD_{in}] \times Q_{in}) / 1000$ = $(1.640 \times 81) / 1000$ = 132,84	kg/hr
Massa BOD_{rem}	= Massa $BOD_{in} \times \%removal$	

$$\begin{aligned}
 &= 132,84 \times 0\% \\
 &= 0 \quad \text{kg/hr} \\
 \text{Massa BOD}_{\text{out}} &= \text{Massa BOD}_{\text{in}} - \text{Massa BOD}_{\text{rem}} \\
 &= 132,84 - 0 \\
 &= 132,84 \quad \text{kg/hr}
 \end{aligned}$$

COD

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{in}} &= 81 \quad \text{m}^3/\text{hr} \\
 [\text{COD}_{\text{in}}] &= 2.645 \quad \text{mg/L} \\
 \% \text{removal} &= 0\% \\
 \text{Massa COD}_{\text{in}} &= ([\text{COD}_{\text{in}}] \times Q_{\text{in}}) / 1000 \\
 &= (2.645 \times 81) / 1000 \\
 &= 214,25 \quad \text{kg/hr} \\
 \text{Massa COD}_{\text{rem}} &= \text{Massa COD}_{\text{in}} \times \% \text{removal} \\
 &= 214,25 \times 0\% \\
 &= 0 \quad \text{kg/hr} \\
 \text{Massa COD}_{\text{out}} &= \text{Massa COD}_{\text{in}} - \text{Massa COD}_{\text{rem}} \\
 &= 214,25 - 0 \\
 &= 214,25 \quad \text{kg/hr}
 \end{aligned}$$

Warna

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{in}} &= 81 \quad \text{m}^3/\text{hr} \\
 [\text{Warna}_{\text{in}}] &= 130 \quad \text{PtCo} \\
 \% \text{removal} &= 0\% \\
 [\text{Warna}_{\text{out}}] &= [\text{Warna}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{removal}) \\
 &= 130 \times (1 - 0\%) \\
 &= 130 \quad \text{PtCo}
 \end{aligned}$$

b. Bak Koagulasi-Flokulasi

Persentase removal dari unit koagulasi flokulasi dengan koagulan PAC menurut penelitian Baraoidan, et al. (2007) bahwa PAC dapat menurunkan kadar COD sebesar 66%, TSS sebesar 67,5%, BOD sebesar 83%, dan warna sebesar 75,5%. Perhitungan kualitas parameter yang

masuk dan dikeluarkan dari unit bak koagulasi-flokulasi adalah sebagai berikut:

Bak Koagulasi - Flokulasi			
TSS			
Q_{in}	=	81	m^3/hr
%removal	=	67,5%	%
Massa TSS _{in}	=	29,48	kg/hr
Massa TSS _{removed}	=	Massa TSS _{in} x %removal	
	=	29,48 x 67,5%	
	=	19,9	kg/hr
Massa TSS _{out}	=	Massa TSS _{in} - Massa TSS _{removed}	
	=	29,48 - 19,9	
	=	9,58	kg/hr
BOD			
Q_{in}	=	81	m^3/hr
%removal	=	83%	%
Massa BOD _{in}	=	132,84	kg/hr
Massa BOD _{removed}	=	Massa BOD _{in} x %removal	
	=	132,84 x 83%	
	=	110,26	kg/hr
Massa BOD _{out}	=	Massa BOD _{in} - Massa BOD _{removed}	
	=	132,84 - 110,26	
	=	22,58	kg/hr
COD			
Q_{in}	=	81	m^3/hr
%removal	=	66%	%
Massa COD _{in}	=	214,25	kg/hr
Massa COD _{removed}	=	Massa COD _{in} x %removal	
	=	214,25 x 66%	
	=	141,4	kg/hr

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD}_{\text{out}} &= \text{Massa COD}_{\text{in}} - \text{Massa COD}_{\text{removed}} \\
 &= 214,25 - 141,4 \\
 &= 72,84 \quad \text{kg/hr}
 \end{aligned}$$

Warna

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{in}} &= 81 \quad \text{m}^3/\text{hr} \\
 [\text{Warna}_{\text{in}}] &= 130 \quad \text{PtCo} \\
 \% \text{removal} &= 75,5\% \quad \% \\
 [\text{Warna}_{\text{out}}] &= [\text{Warna}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{removal}) \\
 &= 130 \times (1 - 0,75\%) \\
 &= 31,85 \quad \text{PtCo}
 \end{aligned}$$

c. Bak Pengendap Flok

Bak pengendap flok tidak memiliki nilai persentase removal karena hanya berfungsi sebagai bak pengendap flok dan tidak ada kriteria desain maupun penelitian terkait persentase removal pada unit ini sehingga dianggap unit tidak dapat meremoval parameter pencemar. Perhitungan kualitas parameter yang masuk dan dikerluarkan dari unit bak pengendapan adalah sebagai berikut:

Bak Pengendapan Flok

TSS

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{in}} &= 81 \quad \text{m}^3/\text{hr} \\
 \% \text{removal} &= 0\% \quad \% \\
 \text{Massa TSS}_{\text{in}} &= 9,58 \quad \text{kg/hr} \\
 \text{Massa TSS}_{\text{removed}} &= \text{Massa TSS}_{\text{in}} \times \% \text{removal} \\
 &= 9,58 \times 0\% \\
 &= 0 \quad \text{kg/hr} \\
 \text{Massa TSS}_{\text{out}} &= \text{Massa TSS}_{\text{in}} - \text{Massa TSS}_{\text{removed}} \\
 &= 9,58 - 0 \\
 &= 9,58 \quad \text{kg/hr}
 \end{aligned}$$

BOD

$$Q_{\text{in}} = 81 \quad \text{m}^3/\text{hr}$$

%removal	=	0%	%
Massa BOD _{in}	=	22,58	kg/hr
Massa BOD _{removed}	=	Massa BOD _{in} x %removal	
	=	22,58 x 0%	
	=	0	kg/hr
Massa BOD _{out}	=	Massa BOD _{in} - Massa BOD _{removed}	
	=	22,58 - 0	
	=	22,58	kg/hr

COD

Q _{in}	=	81	m ³ /hr
%removal	=	0%	%
Massa COD _{in}	=	72,84	kg/hr
Massa COD _{removed}	=	Massa COD _{in} x %removal	
	=	72,84 x 0%	
	=	0	kg/hr
Massa COD _{out}	=	Massa COD _{in} - Massa COD _{removed}	
	=	72,84 - 0	
	=	72,84	kg/hr

Warna

Q _{in}	=	81	m ³ /hr
[Warna _{in}]	=	31,85	PtCo
%removal	=	0%	%
[Warna _{out}]	=	[Warna _{in}] x (1 - %removal)	
	=	130 x (1 - 0%)	
	=	31,85	PtCo

d. Bak Pengendap Final

Perhitungan kualitas parameter yang masuk dan dikeluarkan dari unit bak pengendapan final berdasarkan kondisi eksisting adalah sebagai berikut:

Bak Pengendapan Final		
TSS		
Q_{in}	= 81	m^3/hr
%removal	= 56.00%	%
Massa TSS _{in}	= 9,58	kg/hr
Massa TSS _{removed}	= Massa TSS _{in} x %removal = 9,58 x 56%	
	= 5,37	kg/hr
Massa TSS _{out}	= Massa TSS _{in} - Massa TSS _{removed} = 9,58 - 5,37	
	= 4,22	kg/hr
BOD		
Q_{in}	= 81	m^3/hr
%removal	= 34,5%	%
Massa BOD _{in}	= 22,58	kg/hr
Massa BOD _{removed}	= Massa BOD _{in} x %removal = 22,58 x 34,5%	
	= 7,79	kg/hr
Massa BOD _{out}	= Massa BOD _{in} - Massa BOD _{removed} = 22,58 - 7,79	
	= 14,79	kg/hr
COD		
Q_{in}	= 81	m^3/hr
%removal	= 0%	%
Massa COD _{in}	= 72,84	kg/hr
Massa COD _{removed}	= Massa COD _{in} x %removal = 72,84 x 0%	
	= 0	kg/hr
Massa COD _{out}	= Massa COD _{in} - Massa COD _{removed} = 72,84 - 0	

	= 72,84	kg/hr
Warna		
Q_{in}	= 81	m ³ /hr
$[Warna_{in}]$	= 31,85	PtCo
%removal	= 0%	%
$[Warna_{out}]$	= $[Warna_{in}] \times (1 - \%removal)$	
	= $31,85 \times (1 - 0\%)$	
	= 31,85	PtCo

Perhitungan kesetimbangan massa menggunakan persentase removal dari tiap unit dapat disederhanakan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Persentase Removal Unit IPAL Eksisting

Unit	Removal Eksisting			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Equalisasi	0%	0%	0%	0%
Bak Koa-Flok	67,5%	75,5%	66%	83%
B P Flok	0%	0%	0%	0%
BP Final	56%	0%	0%	34,50%

Sumber: Hasil Perhitungan

Persentase removal pada Tabel 5.11 dapat dijadikan sebagai acuan untuk menghitung kadar pencemar yang keluar dari tiap unit. Perhitungan sebagai berikut:

Bak Ekualisasi		
$[TSS_{out}]$	= $[TSS_{in}] - ([TSS_{out}] \times \%removal)$	
	= $364 - (364 \times 0\%)$	
	= 364	
$[BOD_{out}]$	= $[BOD_n] - ([BOD_{out}] \times \%removal)$	
	= $1.640 - (1.640 \times 0\%)$	
	= 1.640	
$[COD_{out}]$	= $[COD_{in}] - ([COD_{out}] \times \%removal)$	
	= $2.645 - (2.645 \times 0\%)$	

$$\begin{aligned}
 &= 2.645 \\
 [\text{Warna}_{\text{out}}] &= [\text{warna}_{\text{in}}] - ([\text{warna}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 130 - (130 \times 0\%) \\
 &= 130
 \end{aligned}$$

Bak Koagulasi - Flokulasi

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS}_{\text{out}}] &= [\text{TSS}_{\text{in}}] - ([\text{TSS}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 364 - (364 \times 67.5\%) \\
 &= 364 \\
 [\text{BOD}_{\text{out}}] &= [\text{BOD}_n] - ([\text{BOD}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 1.640 - (1.640 \times 83\%) \\
 &= 278,8 \\
 [\text{COD}_{\text{out}}] &= [\text{COD}_{\text{in}}] - ([\text{COD}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 2.645 - (2.645 \times 66\%) \\
 &= 899,3 \\
 [\text{Warna}_{\text{out}}] &= [\text{warna}_{\text{in}}] - ([\text{warna}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 130 - (130 \times 75,5\%) \\
 &= 31,85
 \end{aligned}$$

Bak Pengendapan Flok

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS}_{\text{out}}] &= [\text{TSS}_{\text{in}}] - ([\text{TSS}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 118,3 - (118,3 \times 0\%) \\
 &= 118,3 \\
 [\text{BOD}_{\text{out}}] &= [\text{BOD}_n] - ([\text{BOD}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 278,8 - (278,8 \times 0\%) \\
 &= 278,8 \\
 [\text{COD}_{\text{out}}] &= [\text{COD}_{\text{in}}] - ([\text{COD}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 899,3 - (899,3 \times 0\%) \\
 &= 899,3 \\
 [\text{Warna}_{\text{out}}] &= [\text{warna}_{\text{in}}] - ([\text{warna}_{\text{out}}] \times \% \text{removal})
 \end{aligned}$$

$$= 31,85 - (31,85 \times 0\%)$$

$$= 31,85$$

Bak Pengendapan Final

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS}_{\text{out}}] &= [\text{TSS}_{\text{in}}] - ([\text{TSS}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 118,3 - (118,3 \times 56\%) \\
 &= 118,3 \\
 [\text{BOD}_{\text{out}}] &= [\text{BOD}_{\text{n}}] - ([\text{BOD}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 278,8 - (278,8 \times 34,5\%) \\
 &= 182,61 \\
 [\text{COD}_{\text{out}}] &= [\text{COD}_{\text{in}}] - ([\text{COD}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 899,3 - (899,3 \times 0\%) \\
 &= 899,30 \\
 [\text{Warna}_{\text{out}}] &= [\text{warna}_{\text{in}}] - ([\text{warna}_{\text{out}}] \times \% \text{removal}) \\
 &= 31,85 - (31,85 \times 0\%) \\
 &= 31,85
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas dapat disederhanakan dalam sebuah tabel untuk menunjukkan kesetimbangan massa dari sistem pengolahan IPAL eksisting yang ditunjukkan pada Tabel 5.12

Tabel 5.12 Kualitas Air Limbah IPAL Eksisting

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	118,3	50	mg/L
Warna	130	31,85	-	PtCo
COD	2.645	899,3	150	mg/L
BOD	1.640	182,61	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

5.3.8 Rekomendasi Evaluasi

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi untuk unit IPAL eksisting industri tekstil Z adalah semua unit tidak memenuhi kriteria desain dan untuk rekomendasi perbaikan ada beberapa opsi, yaitu:

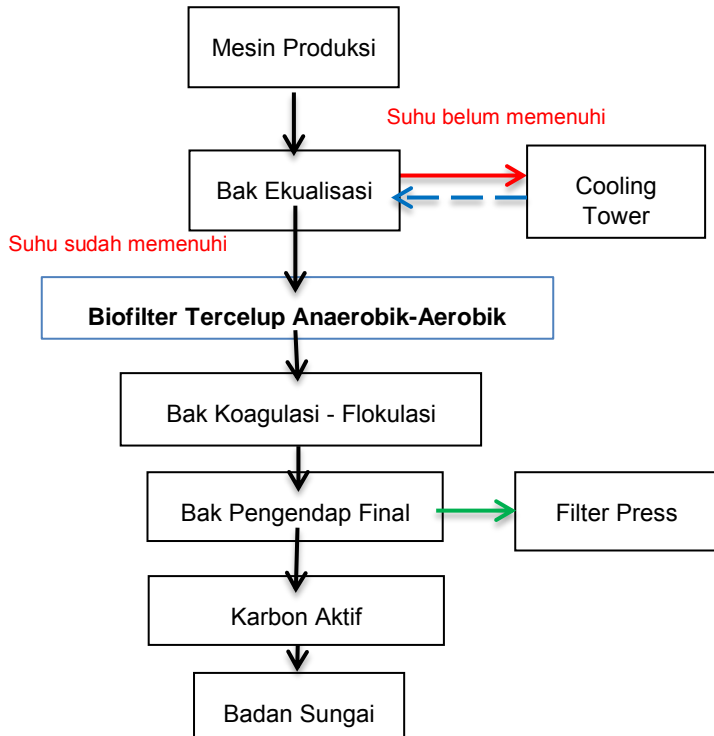
1. Melakukan pembongkaran ulang semua unit yang telah dievaluasi dan mengganti dimensi unit sesuai dengan perhitungan kriteria desain.
2. Melakukan pembongkaran terhadap unit IPAL eksisting yang telah dievaluasi dan mengganti unit tanki aerasi yang tidak dioperasikan dan mendapatkan keluhan dalam pengoperasiannya dengan alternatif unit biofilter tercelup anaerobik aerobik serta ditambah unit adsorpsi karbon aktif.

5.4. Perencanaan Ulang IPAL

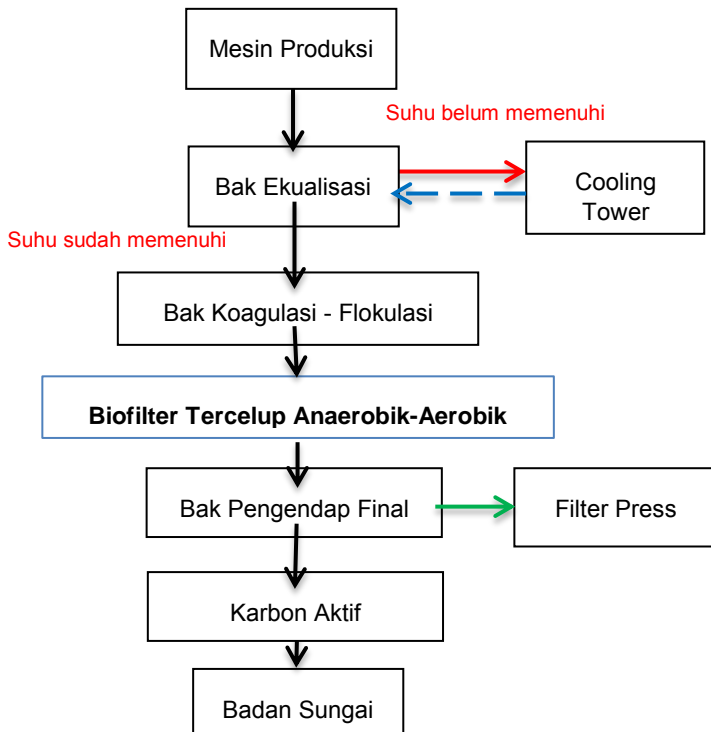
Perencanaan ulang menggunakan biofilter tercelup anaerobik-aerobik sebagai alternatif pengganti unit tanki aerasi dan lahan yang digunakan merupakan lahan dari tanki aerasi yang tersedia saat ini. Perencanaan ulang direncanakan akan dikombinasikan dengan unit IPAL yang ada pada sistem IPAL eksisting. Alternatif sistem pengolahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Alternatif 1:
Bak Ekualisasi – Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik – Bak Koagulasi-flokulasi – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif
- b. Alternatif 2:
Bak Ekualisasi – Bak Koagulasi-flokulasi – Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif
- c. Alternatif 3:
Bak Ekualisasi – Bak Biofilter Anaerobik-aerobik – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif

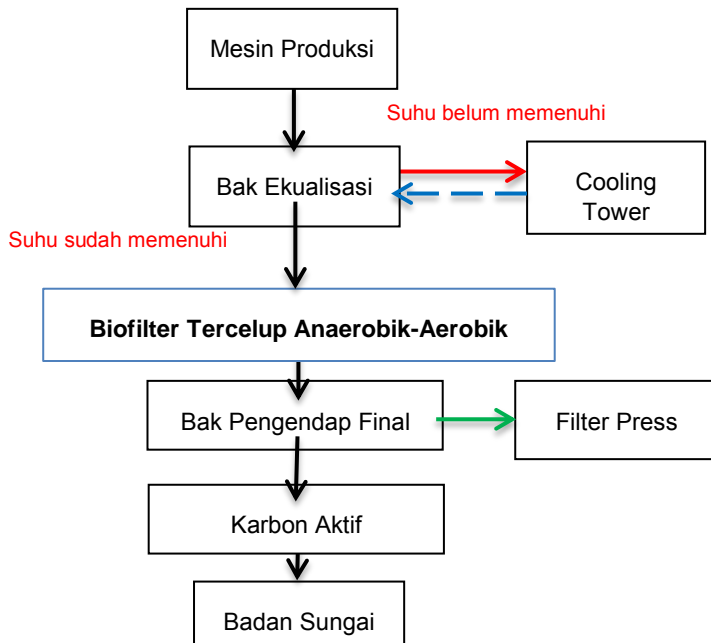
Kedua alternatif dapat disederhanakan dalam diagram alir pada Gambar 5.2, Gambar 5.3, dan Gambar 5.4.



Gambar 5.2 Diagram Alir Alternatif 1



Gambar 5.3 Diagram Alir Alternatif 2



Gambar 5.4 Diagram Alir Alternatif 3

5.4.1 Perencanaan Ulang Alternatif 1

a. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi pada alternatif 1 menggunakan desain dari perbaikan bak ekualisasi hasil perhitungan analisis evaluasi. Dimensi bak ekualisasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Panjang bak = 5,5 meter
- Lebar bak = 2,8 meter
- Tinggi bak = 2 meter

b. Bak Pengendap Awal

Perencanaan dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan kriteria desain dari Sasse (1998). Kriteria desain unit biofilter anaerobik-aerobik adalah sebagai berikut:

Tabel 5.13 Kriteria Desain Anaerobik Biofilter

Parameter	Range	Satuan	Tipikal
Waktu tinggal (td)	24 - 48	jam	36
Rasio SS/COD	0,35 – 0,45		0,4
<i>Organic Loading Rate</i>	< 4,5	kg/m ³ .hari	
<i>V_{up}</i> dalam media	< 2	m/jam	

Sumber: Sasse, 1998

Dengan kriteria desain yang telah ditetapkan dalam Buku DEWATS, maka dapat dihitung dimensi yang diperlukan untuk rangkaian unit biofilter tercelup. Perhitungan desain unit adalah sebagai berikut:

Direncanakan			
Debit masuk (Q_{in})	= 81	m ³ /hari	
	= 0,94	L/s	
Waktu masuk limbah	= 8	jam	
Waktu tinggal (td)	= 2	jam	
[COD _{in}]	= 2.645	mg/L	
[BOD _{in}]	= 1.640	mg/L	
rasio SS / COD	= 0,4	mg/L / mg/L	
Waktu pengurasan lumpur (P_L)	= 6	bulan	
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m	
Tinggi air minimum di inlet (H_{air})	= 2,2	m	
Lebar sekat (L_{sekat})	= 0,5	m	
Perhitungan Removal			

$$\begin{aligned}
 \% \text{ removal COD} &= ((\text{rasio SS/COD}/0,6) \times ((td-1) \times 0,1)) / (2+0,3) \\
 &= ((0,4/0,6) \times ((2-1) \times 0,1)) / (2+0,3) \\
 &= 23,33\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{COD}_{\text{out}}] &= [\text{COD}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{ removal COD}) \\
 &= 2.645 \times (1 - 0,23) \\
 &= 2.027,83 \quad \text{mg/L} \\
 \% \text{ removal BOD} &= 1,06 \times \% \text{ removal COD} \\
 &= 1,06 \times 23,33\% \\
 &= 24,73\% \quad \% \\
 [\text{BOD}_{\text{out}}] &= [\text{BOD}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{ removal BOD}) \\
 &= 1.640 \times (1 - 0,24) \\
 &= 1.234,37 \quad \text{mg/L} \\
 \text{Debit puncak} &= Q_{\text{in}} / \text{waktu masuk limbah} \\
 (Q_{\text{peak}}) &= 81 / 8 \\
 &= 10,13 \quad \text{m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Lumpur

$$\begin{aligned}
 \text{Akumulasi Lumpur (A}_L) &= 0,005 \times (1 - (P_L \times 0.014)) \\
 &= 0,005 \times (1 - (6 \times 0,014)) \\
 &= 0,0046 \quad \text{l/kg BOD} \\
 \text{Volume lumpur total (V}_{\text{lumpur}}) &= A_L \times ([\text{BOD}_{\text{in}}] - [\text{BOD}_{\text{out}}]) / 1000 \times P_L \times 30 \times \\
 &\quad Q_{\text{in}} + \text{HRT} \times Q_{\text{peak}} \\
 &= 0,0046 \times (1.640 - 1.234,37 / 1.000) \times 6 \times 30 \times \\
 &\quad 81 \times 2 \times 10,13 \\
 &= 47,34 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan Dimensi

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Kompartemen 1 (P}_{\text{komp1}}) &= 2/3 \times V_{\text{lumpur}} / L_{\text{bak}} / H_{\text{air}} \\
 &= 2/3 \times 47,34 / 2,2 / 2 \\
 &= 7,17 \quad \text{m} \\
 &= 7,20 \quad \text{m} \\
 \text{Panjang Kompartemen 2 (P}_{\text{komp2}}) &= P_{\text{komp1}} \times 0,5 \\
 &= 7,2 \times 0,5 \\
 &= 3,59 \\
 &= 3,6 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

Dimensi Bak Pengendap Awal Biofilter

Kompartemen 1

Panjang Kompartemen 1 (P_{komp1})	= 7,2	m
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air minimum di inlet (H_{air})	= 2,2	m
Free Board (F_b)	= 0,3	m
Tinggi Bak (H_{bak})	= $H_{air} + F_b$ = $2 + 0,3$ = 2,5	m
Luas Permukaan Bak (A_{s1})	= $P_{komp1} \times L_{bak}$ = $7,2 \times 2,2$ = 14,4	m^2
Volume Kompartemen 1 (V_{komp1})	= $A_{s1} \times H_{bak}$ = $15,84 \times 2,2$ = 36	m^3

Kompartemen 2

Panjang Kompartemen 2 (P_{komp2})	= 3,6	m
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air minimum di inlet (H_{air})	= 2,2	m
Free Board (F_b)	= 0,3	m
Tinggi Bak (H_{bak})	= $H_{air} + F_b$ = $2 + 0,3$ = 2,5	m
Luas Permukaan Bak (A_{s2})	= $P_{komp1} \times L_{bak}$ = $3,6 \times 2,2$ = 7,2	m^2
Volume Kompartemen 2 (V_{komp2})	= $A_{s1} \times H_{bak}$ = $7,92 \times 2,2$ = 18	m^3

Cek Kriteria Desain

$$\text{Organic Loading Rate (OLR)} = (Q_{in} \times [COD_{in}]) / V_{komp}$$

$$\begin{aligned}
 &= (81 \times 2.645) / (V_{\text{komp1}} + V_{\text{komp2}}) \\
 &= 3.967,50 \\
 &= 3,97 \quad \text{kg/m}^3 \cdot \text{hari} \\
 \text{Hydarulic Loading Rate (HLR)} &= Q_{\text{in}} / A_s \\
 &= 81 / (A_{s1} + A_{s2}) \\
 &= 3,75 \quad \text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}
 \end{aligned}$$

Dimensi yang didapatkan dari hasil perhitungan bak pengendap awal unit biofilter ini adalah sebagai berikut:

1. Kompartemen 1
 - Panjang = 7,2 meter
 - Lebar = 2 meter
 - Tinggi = 2,5 meter
2. Kompartemen 2
 - Panjang = 3,6 meter
 - Lebar = 2 meter
 - Tinggi = 2,5 meter

c. Bak Anaerobik Biofilter Tercelup

Bak Anaerobik Biofilter merupakan unit lanjutan setelah bak pengendap awal. Unit ini dirangkai secara seri dan merupakan sambungan dari bak pengendap awal. Berdasarkan kriteria desain maka dapat dihitung untuk perencanaan unit bak anaerobik biofilter. Rincian perhitungan dapat dilihat dibawah ini :

Perencanaan unit disesuaikan dengan kondisi lahan yang tersedia, sehingga untuk menentukan dimensi akan berdasarkan dengan kondisi lapangan dan berikut adalah perhitungan dimensi unit anaerobik biofilter:

Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	m^3/hari
	= 0,94	L/s
Waktu masuk limbah (tlimbah)	= 8	jam
Td di Bak Pengendap	= 2	jam

HRT di tiap bak anaerobik filter	= 24	jam
Suhu air limbah minimum (T)	= 28	°C
Jumlah bak yang direncanakan (n)	= 4	buah
[COD _{in}]	= 2.027,83	mg/L
[BOD _{in}]	= 1.234,37	mg/L
SS / COD ratio	= 0,40	mg/L / mg/L
Waktu pengurasan lumpur (P _L)	= 6	bulan
Lebar bak (L _{bak})	= 2	m
Tinggi air (H _{air})	= 2,2	m
Jumlah Kompartemen (n)	= 4	buah
Lebar celah bawah kompartemen (L _{cb})	= 0,5	m
Tinggi air diatas media (H _{amedia})	= 0,4	m
Panjang Sekat Bak (P _{sbak})	= 0,25	m
Free Board (F _b)	0,3	m
Media Filter	= Sarang Tawon (PVC / Plastik)	
Porositas media filter (p _{mf})	= 98%	%
Luas permukaan media filter (A _{smf})	= 150 - 240	m ² /m ³

Perhitungan Removal

f-temp	= ((T - 25) x 0,08) / 5 + 1
	= ((28 - 25) x 0,08) / 5 + 1
	= 1,05
f-strenght	= (([COD _{in}] - 2.000) x 0,02) / (1.000 + 1,04)
	= ((2.027,83 - 2.000) x 0,02) / (1.000 + 1,04)
	= 1,04
f-surface	= 1,06
f-td	= ((td - 12) x 0,07) / (12 + 0,6)
	= ((24 - 12) x 0,07) / (12 + 0,6)

$$\begin{aligned}
 &= 0,67 \\
 \% \text{ removal COD} &= f_{\text{temp}} \times f_{\text{strength}} \times f_{\text{surface}} \times f_{\text{td}} \times (1 + (n \times 0,04)) \\
 &= 1,05 \times 1,04 \times 1,06 \times 0,67 \times (1 + (4 \times 0,04)) \\
 &= 89,84\% \\
 [\text{COD}_{\text{out}}] &= [\text{COD}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{ removal COD}) \\
 &= 2.027,83 \times (1 - 0,94) \\
 &= 206,04 \text{ mg/L} \\
 \% \text{ removal BOD} &= 92,71\% \\
 [\text{BOD}_{\text{out}}] &= [\text{BOD}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{ removal BOD}) \\
 &= 1.234,37 \times (1 - 0,98) \\
 &= 89,99 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Dimensi

$$\begin{aligned}
 \text{Debit puncak (Q}_{\text{peak}}) &= Q_{\text{in}} / \text{tlimbah} \\
 &= 81 / 8 \\
 &= 10.13 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Volume Bak (V}_{\text{bak}}) &= Q_{\text{in}} \times (\text{HRT} / 24) \\
 &= 81 \times (24 \times 24) \\
 &= 81 \text{ m}^3 \\
 \text{Panjang kompartemen (P}_{\text{komp}}) &= V_{\text{bak}} / n / ((H_{\text{air}} \times 0,25) + (L_{\text{bak}} \times (H_{\text{air}} - H_{\text{filter}}) \times (1 - p_{\text{mf}}))) \\
 &= 81 / 4 / ((2,2 \times 0,25) + (2 \times (2,2 - 1,05 \times (1 - 0,98))) \\
 &= 4,13 \text{ m} \\
 &= 4,20 \text{ m} \\
 \text{Tinggi media filter (H}_{\text{filter}}) &= H_{\text{air}} - L_{\text{cb}} - 0,4 - 0,05 \\
 &= 2,2 - 0,5 - 0,4 - 0,05 \\
 &= 1,25 \text{ m} \\
 \text{Tinggi Bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + F_b \\
 &= 2,2 + 0,3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,5 \quad \text{m} \\
 \text{Luas Permukaan Bak (A}_{s1}\text{)} &= P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \\
 &= 3,8 \times 2 \\
 &= 8,40 \quad \text{m}^2 \\
 \text{Volume media filter (V}_{\text{mf}}\text{)} &= A_s \times H_{\text{filter}} \\
 &= 8,4 \times 1,25 \\
 &= 10,5 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Cek Kriteria Desain

$$\begin{aligned}
 \text{Vup dalam media (V}_{\text{upmf}}\text{)} &= Q_{\text{peak}} / (P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \times p_{\text{mf}}) \\
 &= 10,1 / (4,2 \times 2 \times 98\%) \\
 &= 1,23 \quad \text{m/jam} \\
 \text{Organic Loading Rate (OLR)} &= [\text{COD}_{\text{in}}] \times Q_{\text{in}} / 1.000 / (H_{\text{filter}} \times P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \times n \times p_{\text{mf}}) \\
 &= 2.027,83 \times 81 / 1.000 / (1,05 \times 3,8 \times 2,2 \times 4 \times 98\%) \\
 &= 3,19 \quad \text{kg/m}^3 \cdot \text{hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan dimensi dari tiap kompartemen bak biofilter anaerobik adalah sebagai berikut:

- Kompartemen = 4 buah
- Panjang = 4,2 meter
- Lebar = 2 meter
- Tinggi = 2,5 meter
- Tinggi media = 1,25 meter

d. Bak Aerobik Biofilter

Bak aerobik biofilter merupakan unit lanjutan yang disusun secara seri setelah bak anaerobik biofilter. Unit ini memiliki kriteria desain yang sama dan perhitungan dengan cara yang sama dengan bak anaerobik biofilter. Perencanaan dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan kriteria desain dari Sasse (1998). Perhitungan dimensi adalah sebagai berikut:

Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	$m^3/hari$
	= 0,94	L/s
Waktu masuk limbah (t_{limbah})	= 8	jam
Td di Bak Pengendap	= 2	jam
HRT di tiap bak aerobik filter	= 7	jam
Suhu air limbah minimum (T)	= 28	$^{\circ}C$
Jumlah bak yang direncanakan (n)	= 4	buah
[COD _{in}]	= 206,04	mg/L
[BOD _{in}]	= 89,99	mg/L
SS / COD ratio	= 0,4	mg/L / mg/L
Waktu pengurasan lumpur (P_L)	= 6	bulan
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air (H_{air})	= 2,2	m
Jumlah Kompartemen (n)	= 1	buah
Lebar celah bawah kompartemen (L_{cb})	= 0,5	m
Tinggi air diatas media (H_{amedia})	= 0,4	m
Panjang Sekat Bak (P_{sbak})	= 0,25	m
Free Board (F_b)	= 0,3	m
Media Filter	= Sarang Tawon	
Porositas media filter (p_{mf})	= 98%	%
Luas permukaan media filter (A_{smf})	= 150 - 240	m^2/m^3
Perhitungan Removal		
f-temp	$= ((T - 25) \times 0,08) / 5 + 1$ $= ((28 - 25) \times 0,08) / 5 + 1$ $= 1,05$	
f-strenght	$= [COD_{in}] \times 0,17 / 2000 + 0,87$ $= 206,04 \times 0,17 / 2000 + 0,87$ $= 0,89$	

$$\begin{aligned}
 f_{\text{surface}} &= 1,06 \\
 f_{\text{td}} &= t_d \times 0,1612 + 0,44 \\
 &= 7 \times 0,1612 + 0,44 \\
 &= 0,57 \\
 \% \text{ removal COD} &= f_{\text{temp}} \times f_{\text{strength}} \times f_{\text{surface}} \times f_{\text{td}} \times (1 + (n \times 0,04)) \\
 &= 1,05 \times 0,89 \times 1,06 \times 0,57 \times (1 + (1 \times 0,04)) \\
 &= 58,53\% \\
 [\text{COD}_{\text{out}}] &= [\text{COD}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{ removal COD}) \\
 &= 206,04 \times (1 - 0,59) \\
 &= 85,45 \quad \text{mg/L} \\
 \% \text{ removal BOD} &= 60,29\% \\
 [\text{BOD}_{\text{out}}] &= [\text{BOD}_{\text{in}}] \times (1 - \% \text{ removal BOD}) \\
 &= 89,99 \times (1 - 0,6) \\
 &= 35,74 \quad \text{mg/L}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Dimensi

$$\begin{aligned}
 \text{Debit puncak (Q}_{\text{peak}}) &= Q_{\text{in}} / t_{\text{limbah}} \\
 &= 81 / 8 \\
 &= 10,13 \quad \text{m}^3/\text{jam} \\
 \text{Volume Bak (V}_{\text{bak}}) &= Q_{\text{in}} \times (\text{HRT} / 24) \\
 &= 81 \times (7 \times 24) \\
 &= 23,63 \quad \text{m}^3 \\
 \text{Luas Permukaan Bak (A}_{\text{s1}}) &= V_{\text{bak}} / H_{\text{air}} \\
 &= 23,63 / 2,2 \\
 &= 10,74 \quad \text{m}^2 \\
 \text{Panjang kompartemen (P}_{\text{komp}}) &= A_s / L_{\text{bak}} \\
 &= 10,74 / 2 \\
 &= 5,37 \quad \text{m} \\
 &= 5,4 \quad \text{m} \\
 \text{Tinggi media filter} &= H_{\text{air}} - L_{\text{cb}} - 0,4 - 0,05
 \end{aligned}$$

(H_{filter})

$$= 2,2 - 0,5 - 0,4 - 0,05$$

$$= 1,25 \quad \text{m}$$

Tinggi Bak (H_{bak})

$$= H_{\text{air}} + F_b$$

$$= 2,2 + 0,3$$

$$= 2,5 \quad \text{m}$$

Volume media filter
(V_{mf})

$$= A_s \times H_{\text{filter}}$$

$$= 10,74 \times 1,25$$

$$= 13,42 \quad \text{m}^3$$

Perhitungan Kebutuhan Oksigen

BOD yang masuk

$$= ([\text{BOD}_{\text{in}}] \times Q_{\text{in}}) / 1.000$$

$$= (89,99 \times 81) / 1.000$$

$$= 7,29 \quad \text{kg/hari}$$

BOD yang dihilangkan

$$= (([\text{BOD}_{\text{in}}] \times \text{removal BOD}) \times Q_{\text{in}}) / 1.000$$

$$= ((89,99 \times 60\%) \times 81) / 1.000$$

$$= 4,39 \quad \text{kg/hari}$$

Keb O_2 Teoritis

$$= 1,4 \times \text{BOD yang dihilangkan}$$

$$= 1,4 \times 4,39$$

$$= 6,15 \quad \text{kg/hari}$$

Suhu rata-rata (T) = 28 $^{\circ}\text{C}$

Berat udara pada suhu 28 C = 1,17 kg/m^3

Diasumsikan jumlah oksigen dalam udara 23,2% = 0,23 $\text{g O}_2 / \text{g udara}$

Jumlah Kebutuhan O_2

$$= \text{Keb O}_2 / (\text{Berat udara} \times \text{jumlah O}_2)$$

$$= 6,15 / (1,17 \times 0,23)$$

$$= 22,62 \quad \text{m}^3/\text{hari}$$

Efisiensi Udara Aktual = 0,01

Kebutuhan Udara Aktual

$$= \text{Jumlah kebutuhan O}_2 / \text{efisiensi udara}$$

$$= 22,62 / 0,01$$

$$= 2.261,56 \quad \text{m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,57 && \text{m}^3/\text{menit} \\
 &= 1.570,53 && \text{L}/\text{menit} \\
 \text{Recycle ratio} &= \text{Vol udara aktual} / Q_{in} \\
 &= 2.261,56 / 81 \\
 &= 27,92 \quad \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan dimensi unit sebesar

- Panjang bak : 5,4 meter
- Lebar bak : 2 meter
- Tinggi bak : 2,5 meter (0,3 meter adalah freeboard)
- *Diffuser* : 1.000-2.000 L O₂/menit
- Tinggi media : 1,25 meter

Detail unit dapat dilihat pada Lampiran C.

e. Bak Pengendap Akhir Biofilter

Bak pengendap akhir biofilter adalah unit terakhir pada rangkaian biofilter tercelup anaerobik-aerobik. Perhitungan dimensi unit ini adalah sebagai berikut:

Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	m ³ /hari
	= 0,94	L/s
Waktu masuk limbah	= 8	jam
Waktu tinggal (td)	= 2	jam
Volume Bak (V_{bak})	= (td / 24) x Q_{in}	
	= (2 / 24) x 81	
	= 6,75	m
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air (H_{air})	= 2,2	m
Luas Permukaan Bak (A_{s1})	= V_{bak} / H_{air}	
	= 6,75 / 2,2	
	= 3.07	m ²
Panjang bak (P_{bak})	= A_{s1} / L_{bak}	
	= 3,07 / 2	

$$= 1,53 \quad \text{m}$$

Dari hasil perhitungan dapat disederhanakan dalam Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Dimensi Desain Alternatif 1

Parameter	BP awal	Bak Anaerob	Bak Aerobik	BP Akhir
Panjang bak (m)	7,2 & 3,6	4,2	5,4	1,53
Lebar bak (m)	2	2	2	2
Tinggi Bak (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi Media (m)	-	1,25	1,25	-

Detail unit dapat dilihat pada Lampiran C.

5.4.2 Perencanaan Ulang Alternatif 2

a. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi pada alternatif 1 menggunakan desain dari perbaikan bak ekualisasi hasil perhitungan analisis evaluasi. Dimensi bak ekualisasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Panjang bak = 5,5 meter
- Lebar bak = 2,8 meter
- Tinggi bak = 2 meter

b. Bak Pengendap Awal

Perencanaan dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan kriteria desain dari Sasse (1998). Perhitungan dimensi unit sesuai dengan kriteria desain yang berlaku dapat dilihat sebagai berikut:

Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	m^3/hari
	= 0.94	L/s
Waktu masuk limbah	= 8	jam
Waktu tinggal (td)	= 2	jam

[COD _{in}]	=	899,30	mg/L
[BOD _{in}]	=	278,80	mg/L
rasio SS / COD	=	0,4	mg/L / mg/L
Waktu pengurasan lumpur (P _L)	=	6	bulan
Lebar bak (L _{bak})	=	2	m
Tinggi air minimum di inlet (H _{air})	=	2,2	m
Lebar sekat (L _{sekat})	=	0,5	m

Perhitungan Removal

% removal COD	=	$((\text{rasio SS/COD}/0,6) \times ((\text{td}-1) \times 0,1)) / (2+0,3)$ $= ((0,4/0,6) \times ((2-1) \times 0,1)) / (2+0,3)$ $= 23,33\%$
[COD _{out}]	=	$[\text{COD}_{in}] \times (1 - \% \text{ removal COD})$ $= 899,3 \times (1 - 0,23)$ $= 689,46$ <div>mg/L</div>
% removal BOD	=	$1,06 \times \% \text{ removal COD}$ $= 1,06 \times 23,33\%$ $= 24,73\%$ <div>%</div>
[BOD _{out}]	=	$[\text{BOD}_{in}] \times (1 - \% \text{ removal BOD})$ $= 278,8 \times (1 - 0,24)$ $= 209,84$ <div>mg/L</div>
Debit puncak (Q _{peak})	=	$Q_{in} / \text{waktu masuk limbah}$ $= 81 / 8$ $= 10,13$ <div>m³/jam</div>

Perhitungan Lumpur

Akumulasi Lumpur (A _L)	=	$0,005 \times (1 - (P_L \times 0,014))$ $= 0,005 \times (1 - (6 \times 0,014))$ $= 0,0046$		l/kg BOD
Volume lumpur total	=	$\frac{A_L \times ([\text{BOD}_{in}] - [\text{BOD}_{out}]) / 1000 \times P_L \times 30 \times Q_{in} + \text{HRT} \times Q_{peak}}{Q_{peak}}$		

(V_{lumpur})

$$= 0,0046 \times (278,8 - 209,84 / 1.000) \times 6 \times 30 \times 81 \times 2 \times 10,13$$

$$= 40,50 \quad \text{m}^3$$

Perhitungan Dimensi

Panjang Kompartemen 1
(P_{komp1})

$$= 2/3 \times V_{\text{lumpur}} / L_{\text{bak}} / H_{\text{air}}$$

$$= 2/3 \times 40,5 / 2,2 / 2$$

$$= 6,14 \quad \text{m}$$

$$= 6,20 \quad \text{m}$$

Panjang Kompartemen 2
(P_{komp2})

$$= P_{\text{komp1}} \times 0,5$$

$$= 6,2 \times 0,5$$

$$= 3,07$$

$$= 3,1 \quad \text{m}$$

Dimensi Bak Pengendap Awal Biofilter

Kompartemen 1

Panjang Kompartemen 1
(P_{komp1})

$$= 6,2 \quad \text{m}$$

Lebar bak (L_{bak})

$$= 2 \quad \text{m}$$

Tinggi air minimum di inlet
(H_{air})

$$= 2,2 \quad \text{m}$$

Free Board (F_b)

$$= 0,3 \quad \text{m}$$

Tinggi Bak (H_{bak})

$$= H_{\text{air}} + F_b$$

$$= 2,2 + 0,3$$

$$= 2,5 \quad \text{m}$$

Luas Permukaan Bak (A_{s1})

$$= P_{\text{komp1}} \times L_{\text{bak}}$$

$$= 6,4 \times 2,2$$

$$= 12,4 \quad \text{m}^2$$

Volume Kompartemen 1
(V_{komp1})

$$= A_{s1} \times H_{\text{bak}}$$

$$= 12,4 \times 2,2$$

$$= 31 \quad \text{m}^3$$

Kompartemen 2

Panjang Kompartemen 2 (P_{komp2})	= 3,1	m
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air minimum di inlet (H_{air})	= 2,2	m
Free Board (F_b)	= 0,3	m
Tinggi Bak (H_{bak})	= $H_{air} + F_b$ = 2,2 + 0,3 = 2,5	m
Luas Permukaan Bak (A_{s2})	= $P_{komp1} \times L_{bak}$ = 3,1 x 2,2 = 6,2	m^2
Volume Kompartemen 2 (V_{komp2})	= $A_{s1} \times H_{bak}$ = 6,2 x 2,2 = 15,5	m^3

Cek Kriteria Desain

Organic Loading Rate (OLR)	= $(Q_{in} \times [COD_{in}]) / V_{komp}$ = $(81 \times 899,3) / (V_{komp1} + V_{komp2})$ = 1.566,52 = 1,57	$kg/m^3 \cdot hari$
Hydarulic Loading Rate (HLR)	= Q_{in} / A_s = $81 / (A_{s1} + A_{s2})$ = 4,35	$m^3/m^2 \cdot hari$

Dimensi yang didapatkan dari hasil perhitungan bak pengendap awal unit biofilter ini adalah sebagai berikut:

1. Kompartemen 1
 - Panjang = 6,2 meter
 - Lebar = 2 meter
 - Tinggi = 2,5 meter

2. Kompartemen 2

- Panjang = 3,1 meter
- Lebar = 2 meter
- Tinggi = 2,5 meter

c. Bak Anaerobik Biofilter Tercelup

Bak Anaerobik Biofilter merupakan unit lanjutan setelah bak pengendap awal. Unit ini dirangkai secara seri dan merupakan sambungan dari bak pengendap awal. Berdasarkan kriteria desain maka dapat dihitung untuk perencanaan unit bak anaerobik biofilter. Perhitungan adalah sebagai berikut:

PERHITUNGAN BAK BIOFILTER ANAEROBIK		
Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	m ³ /hari
	= 0,94	L/s
Waktu masuk limbah (t_{limbah})	= 8	jam
Td di Bak Pengendap	= 2	jam
HRT di tiap bak anaerobik filter	= 24	jam
Suhu air limbah minimum (T)	= 28	°C
Jumlah bak yang direncanakan (n)	= 4	buah
[COD _{in}]	= 689,46	mg/L
[BOD _{in}]	= 209,84	mg/L
SS / COD ratio	= 0,4	mg/L / mg/L
Waktu pengurasan lumpur (P_L)	= 6	bulan
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air (H_{air})	= 2,2	m
Jumlah Kompartemen (n)	= 4	buah
Lebar celah bawah kompartemen (L_{cb})	= 0,50	m
Tinggi air diatas media (H_{amedia})	= 0,40	m
Panjang Sekat Bak (P_{sbak})	= 0,25	m
Free Board (F_b)	= 0,3	m

Media Filter	=	Sarang Tawon
Porositas media filter (p_{mf})	=	98% %
Luas permukaan media filter (A_{smf})	=	150 - 240 m^2/m^3

Perhitungan Removal

f-temp	=	$((T - 25) \times 0,08) / 5 + 1$	
	=	$((28 - 25) \times 0,08) / 5 + 1$	
	=	1,05	
f-strenght	=	$(([COD_{in}] - 2.000) \times 0,02) / (1.000 + 1,04)$	
	=	$((2.027,83 - 2.000) \times 0,02) / (1.000 + 1,04)$	
	=	0,93	
f-surface	=	1,06	
f-td	=	$((td - 12) \times 0,07) / (12 + 0,6)$	
	=	$((24 - 12) \times 0,07) / (12 + 0,6)$	
	=	0,67	
% removal COD	=	$f_{temp} \times f_{strength} \times f_{surface} \times f_{td} \times (1 + (n \times 0,04))$	
	=	$1,05 \times 0,93 \times 1,06 \times 0,67 \times (1 + (4 \times 0,04))$	
	=	80,17%	%
[COD _{out}]	=	$[COD_{in}] \times (1 - \% \text{ removal COD})$	
	=	$689,46 \times (1 - 0,8)$	
	=	136,70	mg/L
% removal BOD	=	92,71%	
[BOD _{out}]	=	$[BOD_{in}] \times (1 - \% \text{ removal BOD})$	
	=	$209,84 \times (1 - 0,92)$	
	=	15,3	mg/L

Perhitungan Dimensi

Debit puncak (Q_{peak})	=	Q_{in} / t_{limbah}	
	=	81 / 8	
	=	10,13	m^3/jam
Volume Bak (V_{bak})	=	$Q_{in} \times (HRT / 24)$	
	=	81 x (24 x 24)	

$$\begin{aligned}
 &= 81 \quad \text{m}^3 \\
 \text{Panjang} &= V_{\text{bak}} / n / ((H_{\text{air}} \times 0,25) + (L_{\text{bak}} \times (\\
 \text{kompertemen (P}_{\text{komp}}) &= H_{\text{air}} - H_{\text{filter}} \times (1 - p_{\text{mf}})) \\
 &= 81 / 4 / ((2,2 \times 0,25) + (2 \times \\
 &= (2,2 - 1,05 \times (1 - 0,98)) \\
 &= 4,13 \quad \text{m} \\
 &= 4,2 \quad \text{m} \\
 \text{Tinggi media filter} &= H_{\text{air}} - L_{\text{cb}} - 0,4 - 0,05 \\
 (H_{\text{filter}}) &= 2,2 - 0,5 - 0,4 - 0,05 \\
 &= 1,25 \quad \text{m} \\
 \text{Tinggi Bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + F_b \\
 &= 2,2 + 0,3 \\
 &= 2,5 \quad \text{m} \\
 \text{Luas Permukaan} &= P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \\
 \text{Bak (A}_{\text{s1}}) &= 3,8 \times 2 \\
 &= 8,40 \quad \text{m}^2 \\
 \text{Volume media filter} &= A_s \times H_{\text{filter}} \\
 (V_{\text{mf}}) &= 8,4 \times 1,25 \\
 &= 10,5 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Cek Kriteria Desain

$$\begin{aligned}
 \text{Vup dalam media} &= Q_{\text{peak}} / (P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \times p_{\text{mf}}) \\
 (V_{\text{upmf}}) &= 10,1 / (4,2 \times 2 \times 98\%) \\
 &= 1,23 \quad \text{m/jam} \\
 \text{Organic Loading} &= [\text{COD}_{\text{in}}] \times Q_{\text{in}} / 1.000 / (H_{\text{filter}} \times P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \times \\
 \text{Rate (OLR)} &= n \times p_{\text{mf}}) \\
 &= 2.027,83 \times 81 / 1.000 / (1,05 \times 3,8 \times 2,2 \times 4 \times \\
 &= 98\%) \\
 &= 1,09 \quad \text{kg/m}^3 \cdot \text{hari}
 \end{aligned}$$

Perencanaan unit disesuaikan dengan kondisi lahan yang tersedia, sehingga untuk menentukan dimensi akan berdasarkan

dengan kondisi lapangan dan berikut adalah perhitungan dimensi unit anaerobik biofilter:

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan dimensi dari tiap kompartemen bak biofilter anaerobik adalah sebagai berikut:

- Kompartemen = 4 buah
- Panjang = 4,2 meter
- Lebar = 2 meter
- Tinggi = 2,5 meter (0,3 adalah f_b)

d. Bak Aerobik Biofilter

Bak aerobik biofilter merupakan unit lanjutan yang disusun secara seri setelah bak anaerobik biofilter. Unit ini memiliki kriteria desain yang sama dan perhitungan dengan cara yang sama dengan bak anaerobik biofilter. Perencanaan dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan kriteria desain dari Sasse (1998). Perhitungan dimensi adalah sebagai berikut:

PERHITUNGAN BAK BIOFILTER AEROBIK		
Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	$m^3/hari$
	= 0,94	L/s
Waktu masuk limbah (t_{limbah})	= 8	jam
Td di Bak Pengendap	= 2	jam
HRT di tiap bak aerobik filter	= 7	jam
Suhu air limbah minimum (T)	= 28	$^{\circ}C$
Jumlah bak yang direncanakan (n)	= 4	buah
[COD_{in}]	= 136,70	mg/L
[BOD_{in}]	= 15,30	mg/L
SS / COD ratio	= 0,40	mg/L / mg/L
Waktu pengurasan lumpur (P_L)	= 6	bulan
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air (H_{air})	= 2,2	m

Jumlah Kompartemen (n)	= 1	buah
Lebar celah bawah kompartemen (L_{cb})	= 0,50	m
Tinggi air diatas media (H_{amedia})	= 0,40	m
Panjang Sekat Bak (P_{sbak})	= 0,25	m
Free Board (F_b)	0,3	m
Media Filter	= Sarang Tawon	
Porositas media filter (p_{mf})	= 98%	%
Luas permukaan media filter (A_{smf})	= 150 - 240	m^2/m^3

Perhitungan Removal

f-temp	= $((T - 25) \times 0,08) / 5 + 1$ = $((28 - 25) \times 0,08) / 5 + 1$ = 1,05	
f-strenght	= $[COD_{in}] \times 0,17 / 2000 + 0,87$ = $136,7 \times 0,17 / 2000 + 0,87$ = 0,88	
f-surface	= 1,06	
f-td	= $t_d \times 0,1612 + 0,44$ = $7 \times 0,1612 + 0,44$ = 0,57	
% removal COD	= $f_{temp} \times f_{strength} \times f_{surface} \times f_{td} \times (1 + (n \times 0,04))$ = $1,05 \times 1,04 \times 1,06 \times 0,67 \times (1 + (1 \times 0,04))$ = 58,14%	%
[COD _{out}]	= $[COD_{in}] \times (1 - \% \text{ removal COD})$ = $136,7 \times (1 - 0,58)$ = 57,22	mg/L
% removal BOD	= 59,89%	
[BOD _{out}]	= $[BOD_{in}] \times (1 - \% \text{ removal BOD})$ = $15,3 \times (1 - 0,59)$ = 6,14	mg/L

Perhitungan Dimensi

Debit puncak (Q_{peak})	= Q_{in} / t_{limbah}	
	= $81 / 8$	
	= 10,13	m^3/jam
Volume Bak (V_{bak})	= $Q_{in} \times (HRT / 24)$	
	= $81 \times (7 \times 24)$	
	= 23,63	m^3
Luas Permukaan Bak (A_{s1})	= V_{bak} / H_{air}	
	= $23,63 / 2,2$	
	= 10,74	m^2
Panjang kompartemen (P_{komp})	= A_s / L_{bak}	
	= $10,74 / 2$	
	= 5,37	m
	= 5,4	m
Tinggi media filter (H_{filter})	= $H_{air} - L_{cb} - 0,4 - 0,05$	
	= $2,2 - 0,5 - 0,4 - 0,05$	
	= 1,25	m
Tinggi Bak (H_{bak})	= $H_{air} + F_b$	
	= $2,2 + 0,3$	
	= 2,5	m
Volume media filter (V_{mf})	= $A_s \times H_{filter}$	
	= $10,74 \times 1,25$	
	= 13,42	m^3

Perhitungan Kebutuhan Oksigen

BOD yang masuk	= $([BOD_{in}] \times Q_{in}) / 1.000$
	= $(15,3 \times 81) / 1.000$
	= 1,24
BOD yang dihilangkan	= $(([BOD_{in}] \times \text{removal BOD}) \times Q_{in}) / 1.000$

	=	$((15,3 \times 59\%) \times 81) / 1.000$	
	=	0,74	kg/hari
Keb Oksigen Teoritis	=	1,4 x BOD yang dihilangkan	
	=	1,4 x 0,74	
	=	1,04	kg/hari
Suhu rata-rata (T)	=	28	C
Berat udara pada suhu 28 C	=	1,17	kg/m ³
Diasumsikan jumlah oksigen dalam udara 23,2 %	=	0,23	g O ₂ / g udara
Jumlah Kebutuhan Oksigen	=	Keb Oksigen / (Berat udara x jumlah oksigen dalam udara)	
	=	1,04 / (1,17 x 0,23)	
	=	3,82	m ³ /hari
Efisiensi Udara Aktual	=	0,01	
Kebutuhan Udara Aktual	=	Jumlah kebutuhan oksigen / efisiensi udara	
	=	3,82 / 0,01	
	=	381,91	m ³ /hari
	=	0,27	m ³ /mnt
	=	265,22	L/mnt

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan dimensi dari tiap kompartemen bak biofilter aerobik adalah sebagai berikut:

- Kompartemen = 1 buah
- Panjang = 5,4 meter
- Lebar = 2 meter
- Tinggi = 2,5 meter (0,3 adalah f_b)
- *Diffuser* = 200-300 L O₂/menit
- Tinggi media = 1,25 meter

Detail gambar dapat dilihat pada Lampiran C

e. Bak Pengendap Akhir Biofilter

Bak pengendap akhir biofilter adalah unit terakhir pada rangkaian biofilter tercelup anaerobik-aerobik. Perhitungan dimensi unit ini adalah sebagai berikut:

Direncanakan		
Debit masuk (Q_{in})	= 81	$m^3/hari$
	= 0.94	L/s
Waktu masuk limbah	= 8	jam
Waktu tinggal (t_d)	= 2	jam
Volume Bak (V_{bak})	= $(t_d / 24) \times Q_{in}$	
	= $(2 / 24) \times 81$	
	= 6,75	m
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air (H_{air})	= 2,2	m
Luas Permukaan Bak (A_s)	= V_{bak} / H_{air}	
	= $6,75 / 2,2$	
	= 3,07	m^2
Panjang bak (P_{bak})	= Luas permukaan bak / Lebar bak	
	= $3,07 / 2$	
	= 1,53	m

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan dimensi dari tiap kompartemen bak pengendap akhir biofilter yang disederhanakan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Dimensi Desain Alternatif 2

Parameter	BP awal	Bak Anaerob	Bak Aerobik	BP Akhir
Panjang bak (m)	7,2 & 3,6	4,2	5,4	1,53
Lebar bak (m)	2	2	2	2
Tinggi Bak (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi Media (m)	-	1,25	1,25	-

Sumber: Hasil Perhitungan

5.4.3 Perencanaan Ulang Alternatif 3

Perencanaan ulang alternatif 3 memiliki langkah perhitungan yang sama dengan alternatif satu, sehingga dapat disederhanakan dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Dimensi Desain Alternatif 3

Parameter	BP awal	Bak Anaerob	Bak Aerobik	BP Akhir
Panjang bak (m)	7,2 & 3,6	4,2	5,4	1,53
Lebar bak (m)	2	2	2	2
Tinggi Bak (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi Media (m)	-	1,25	1,25	-

Sumber: Hasil Perhitungan

Detail unit dapat dilihat pada Lampiran C

5.4.4 Perencanaan Karbon Aktif

Pengolahan menggunakan karbon aktif merupakan salah satu pengolahan tambahan untuk mengadopsi warna yang dihasilkan. Karbon aktif menggunakan karbon aktif berbentuk GAC yang terbuat dari tempurung kelapa. Unit ini memiliki perhitungan yang sama pada setiap alternatif. Kriteria desain yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.17 Kriteria Desain Karbon Aktif

Parameter	Interval	Unit
Volumetric flowrate (V)	50 - 400	m ³ /jam

Parameter	Interval	Unit
Volume Bed (V_b)	10 - 50	m^3
Luas Penampang (A_b)	5 - 30	m^2
Panjang bed (D)	1,8 - 4	meter
Densitas GAC (p)	350 - 550	kg/m^3
kecepatan aliran bed (v_f)	5 - 15	m/jam
waktu kontak bed kosong (EBCT)	5 - 30	menit
waktu kontak efektif (t)	2 - 10	menit
waktu operasi (t)	100 - 600	hari

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2004

Berdasarkan kriteria desain pada Tabel 5.17 maka desain unit adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut:

Q_{in}	=	81	$m^3/hari$
Waktu operasi (t_d)	=	100	hari
Panjang bed (D)	=	2,5	meter
kecepatan aliran bed (v_f)	=	5	m/jam
Volume bed (V_{bed})	=	$(Q_{in} \times D) / v_f$	
	=	$(81 \times 3) / 5$	
	=	1,69	m^3
massa jenis GAC (p)	=	450	kg/m^3
massa GAC (m)	=	$V_{bed} \times p$	
	=	$1,69 \times 450$	
	=	759,38	kg
Luas Penampang (A_b)	=	5	m^2
Tinggi bed (H_{bed})	=	V_{bed} / A_b	
	=	$1,69 / 5$	
	=	0,34	meter
Lebar bed (L_{bed})	=	A_b / D	
	=	$5 / 2,5$	
	=	2	meter
Waktu kontak saat kosong	=	D / v_f	
	=	$4 / 5$	

$$= 0,5 \quad \text{jam}$$

$$= 30 \quad \text{menit}$$

Dimensi Unit Adsorpsi

Tinggi bed (H_{bed})	=	0,34	meter
Panjang bed (D)	=	2,5	meter
Lebar bed (L_{bed})	=	2	meter

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa dimensi yang diperlukan untuk unit ini adalah panjang sebesar 2,5 meter; lebar sebesar 2 meter; dan tinggi bed sebesar 0,34 meter dengan kebutuhan karbon aktif adalah sebesar 759,38 kg.

5.4.5 Perencanaan Filter Press

Pengolahan lumpur adalah pengolahan tambahan untuk mengolah lumpur yang dihasilkan oleh unit IPAL. Pengolahan direncanakan menggunakan *filter press* karena memiliki kemudahan dalam pengolahan dan debit lumpur yang dihasilkan dari unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik sedikit. Debit yang masuk diperoleh dari lumpur yang dihasilkan oleh bak biofilter anaerobik-aerobik dengan mengambil angkat tertinggi dan dibulatkan. Perhitungan dari unit ini adalah sebagai berikut:

Volume lumpur (V)	=	50.000	Liter
[Lumpur] (Ci)	=	35	g / L
Massa Lumpur (MS)	=	$(V \times Ci) / 1.000$	
	=	$(50.000 \times 35) / 1.000$	
	=	1.750	kg
Kadar air lumpur (Sf)	=	32	%
density of cake	=	1,05	
Vcake	=	$MS \times 100 / Sf \times \text{density}$	
	=	$(1.750 \times 100) / (32 \times 1.05)$	
	=	520.833,3	Liter
Lama Pengeringan (Td)	=	3	hari
Lama Pembersihan (Tc)	=	2	hari
Siklus Pengolahan (N)	=	Td / Tc	

$$\begin{aligned}
 &= 3 / 2 \\
 &= 1,5 \\
 \text{jumlah unit (n)} &= 1 \quad \text{buah} \\
 \text{Volume filter press (Vf)} &= V_{\text{cake}} / (N \times n) \\
 &= 520.833,3 / (1,5 \times 1) \\
 &= 347.222,2 \quad \text{Liter} \\
 &= 347,2 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa filter press yang diperlukan sebanyak 2 unit bervolume 347,2 m³ dengan unit adalah berupa mesin bertipe Range 2-30mm cake-15 bars dengan harga berkisar Rp 100.000.000 – Rp 150.000.000,00 tiap unitnya.

5.5. Kesetimbangan Massa Desain Alternatif

Kesetimbangan massa dari perencanaan ulang digunakan untuk mengetahui kualitas air limbah yang dihasilkan dari tiap alternatif. Perhitungan kesetimbangan massa dari dua alternatif adalah sebagai berikut:

5.5.1 Kesetimbangan Massa Alternatif 1

Kesetimbangan massa dari setiap desain alternatif dihitung menggunakan cara yang sama dengan kesetimbangan massa pada Subbab 5.3.7. Hasil perhitungan tersebut dapat disederhanakan kedalam sebuah tabel yang menunjukkan persentase removal alternatif 1. Persentase removal alternatif 1 disederhanakan dalam bentuk Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Persentase Removal Alternatif 1

Unit	Alternatif 1			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Ekualisasi	0%	0%	0%	0%
BP Awal	9,33%	0%	23,33%	24,73%
Bak Anaerobik	55%	45%	89,84%	94,52%
Bak Aerobik	25%	25%	58,53%	60,29%
BP Akhir Biofilter	0%	0%	0%	0%

Unit	Alternatif 1			
	TSS	Warna	COD	BOD
Koa-Flok	67,5%	75,5%	66%	83 %
BP Final	52,63%	0%	0%	31,25%
Karbon Aktif	0%	80%	0%	0%

Sumber: Hasil Perhitungan

Persentase removal pada Tabel 5.18 dapat dijadikan sebagai acuan untuk menghitung kadar pencemar yang keluar dari tiap unit. Cara yang digunakan juga sama dengan perhitungan removal parameter pada Subbab 5.3.7, sehingga hasil perhitungan dapat disederhanakan dalam Tabel 5.19

Tabel 5.19 Effluen Alternatif 1

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	17,15	50	mg/L
Warna	130	2,63	-	PtCo
COD	2.645	29,05	150	mg/L
BOD	1.640	3,14	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

5.5.2 Keseimbangan Massa Alternatif 2

Keseimbangan massa desain alternatif 2 memiliki cara perhitungan yang sama dengan keseimbangan massa desain alternatif 1. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disederhanakan kedalam sebuah tabel yang menunjukkan persentase removal alternatif 2. Persentase removal alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Persentase Removal Unit Alternatif 2

Unit	Parameter			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Ekualisasi	0%	0%	0%	0%
Bak Koagulasi-Flokulasi	67,5%	75,5%	66%	83%
Bak Pengendapan Awal	9,33%	0%	23,3%	24,7%

Unit	Parameter			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Anaerobik Biofilter	55%	45%	89,8%	94,5%
Bak Aerobik Biofilter	25%	25%	58,5%	60,3%
Bak Pengendapan Biofilter	0%	0%	0%	0%
Bak Pengendapan Final	56%	0%	0%	34,5%
Karbon Aktif	0%	80%	0%	0%

Sumber: Hasil Perhitungan

Persentase removal pada Tabel 5.20 dapat dijadikan sebagai acuan untuk menghitung kadar pencemar yang keluar dari tiap unit. Dengan cara perhitungan yang sama, hasil perhitungan kadar pencemar yang dikeluarkan dari desain alternatif 2 dapat disederhanakan dan dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Effluen Alternatif 2

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	15,93	50	mg/L
Warna	130	6,33	-	PtCo
COD	2.645	29,05	150	mg/L
BOD	1.640	2,99	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

5.5.3 Keseimbangan Massa Alternatif 3

Keseimbangan massa desain alternatif 2 memiliki cara perhitungan yang sama dengan keseimbangan massa desain alternatif 1. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disederhanakan kedalam sebuah tabel yang menunjukkan persentase removal alternatif 3. Persentase removal alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Persentase Removal Unit Alternatif 3

Unit	Alternatif 1			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Ekualisasi	0%	0%	0%	0%
BP Awal	9,33%	0%	23,33%	24,73%

Unit	Alternatif 1			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Anaerobik	55%	45%	89,84%	92,71%
Bak Aerobik	25%	25%	58,53%	60,29%
BP Akhir Biofilter	0%	0%	0%	0%
BP Final	52,63%	0%	0%	31,25%
Karbon Aktif	0%	80%	0%	0%

Sumber: Hasil Perhitungan

Persentase removal pada Tabel 5.22 dapat dijadikan sebagai acuan untuk menghitung kadar pencemar yang keluar dari tiap unit. Dengan cara perhitungan yang sama, hasil perhitungan kadar pencemar yang dikeluarkan dari desain alternatif 3 dapat disederhanakan dan dapat dilihat pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Effluen Alternatif 3

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	52,76	50	mg/L
Warna	130	10,73	-	PtCo
COD	2.645	85,45	150	mg/L
BOD	1.640	24,57	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

Alternatif desain 3 memiliki kandungan air limbah yang tidak memenuhi baku mutu pada parameter TSS. Sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan dan RAB tidak dihitung.

5.6. Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan anggaran biaya dari perencanaan ulang meliputi biaya investasi dan biaya operasi. Biaya investasi meliputi biaya untuk pembangunan dari pembangunan unit bak ekualisasi, biofilter tercelup anaerobik-aerobik, unit adsorpsi, dan pembelian *filter press*. Rancangan anggaran biaya investasi disusun berdasarkan beban biaya pekerjaan. Rancangan anggaran biaya dihitung berdasarkan HSPK Kota Surabaya tahun 2015,

perhitungan dapat dilihat pada lampiran. Tabel 5.24 menunjukkan RAB dari biaya investasi.

Tabel 5.24 Rancangan Anggaran Biaya Investasi

Unit	Alternatif 1	Alternatif 2
Bak Ekualisasi	Rp 88.512.430	Rp 88.512.430
Bak Pengendap Awal	Rp 82.314.539	Rp 80.562.532
Biofilter	Rp 506.748.015	Rp 497.640.389
Bak Pengendap Akhir	Rp 88.512.430	Rp 88.512.430
Adsorpsi	Rp 37.947.899	Rp 37.947.899
Diffuser	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
Filter Press	Rp 150.000.000	Rp 150.000.000
Total	Rp 804.035.312	Rp 793.175.680

Sumber: Hasil Perhitungan

Rancangan anggaran biaya dalam perencanaan ulang ini juga meliputi biaya operasi unit. Rancangan anggaran biaya memiliki harga yang sama karena kedua alternatif (alternatif 1 dan 2) memiliki sistem operasi yang sama. Biaya operasi dan biaya perawatan dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan Tabel 5.26

Tabel 5.25 Biaya Operasi

Biaya Operasi				
Jenis kebutuhan	Jumlah	Satuan	Harga/ satuan	Harga total/bulan
Kebutuhan listrik Pompa submersibel	6	kWh	1409	Rp 253.649
Kebutuhan listrik Filter press	20	kWh	1409	Rp 845.496
Kebutuhan listrik diffuser	5	kWh	1409	Rp 211.374
kebutuhan PAC	50	kg	10000	Rp 15.000.000
Total per bulan				Rp 16.310.519
Total per tahun				Rp 195.726.226
Total 5 tahun				Rp 978.631.128

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.26 Biaya Perawatan

Biaya Perawatan				
Jenis kebutuhan	Jumlah	satuan	Harga/ satuan	Harga total/ tahun
Perawatan pompa/6bulan	2	kali	Rp 100.000	Rp 200.000
Pengurusan biofilter/6 bulan	2	kali	Rp 600.000	Rp 1.200.000
Pengecekan diffuser/3 bulan	4	kali	Rp 50.000	Rp 200.000
Pengecekan manhole tiap unit	4	kali	Rp 50.000	Rp 200.000
Pencucian karbon aktif	3	kali	Rp 200.000	Rp 600.000
Total per tahun				Rp 2.400.000
Total 5 tahun				Rp 12.000.000

Sumber: Hasil Perhitungan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari evaluasi dan perencanaan ulang IPAL industri tekstil menggunakan desain unit baru yaitu biofilter tercelup anaerobik-aerobik adalah sebagai berikut:

1. Unit IPAL industri tekstil Z yang tidak berfungsi dengan baik adalah semua unit. Hal ini berdasarkan hasil perhitungan bahwa unit yang digunakan dalam sistem IPAL industri tekstil Z tidak sesuai dengan kriteria desain sehingga efektivitas dalam menghilangkan parameter pencemar tidak maksimal.
2. Karakteristik air limbah yang masuk kedalam IPAL memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 364 mg/L; 2.645 mg/L; 1.640 mg/L; dan 130 PtCo.
3. Limbah yang dihasilkan IPAL industri tekstil Z dengan sistem IPAL eksisting tidak memenuhi baku mutu karena memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 52,05 mg/L; 899,3 mg/L; 182,61 mg/L; dan 31,85 PtCo.
4. Rekomendasi dari hasil evaluasi adalah melakukan perencanaan ulang dengan mengganti unit tanki aerasi menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik karena tanki aerasi IPAL eksisting yang tidak dioperasikan dan mendapat keluhan kesulitan dalam pengoperasiannya.
5. Perencanaan ulang menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik dan unit adsorpsi yaitu karbon aktif yang menggunakan lahan tanki aerasi serta dikombinasikan dengan unit IPAL eksisting industri tekstil Z.
6. Perencanaan ulang dibuat dengan dua alternatif yaitu:
 - a. Alternatif 1: Bak Ekualisasi → Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik → Bak Koagulasi-Flokulasi → Bak Pengendap Final → Karbon Aktif

- b. Alternatif 2: Bak Ekualisasi → Bak Koagulasi-Flokulasi → Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik → Bak Pengendap Final → Karbon Aktif
 - c. Alternatif 3: Bak Ekualisasi → Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik → Bak Pengendap Final → Karbon Aktif.
7. Limbah yang dihasilkan perencanaan ulang dengan alternatif 1 memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 17,15 mg/L; 29,05 mg/L; 3,14 mg/L; dan 2,63 PtCo.
 8. Limbah yang dihasilkan perencanaan ulang dengan alternatif 2 memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 15,93 mg/L; 29,05 mg/L; 2,99 mg/L; dan 2,63 PtCo.
 9. Limbah yang dihasilkan perencanaan ulang dengan alternatif 3 memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 52,76 mg/L; 85,45 mg/L; 24,57 mg/L; dan 10,73 PtCo.
 10. Biaya investasi yang diperlukan untuk perencanaan ulang alternatif 1 adalah sebesar Rp 804.035.312.
 11. Biaya investasi yang diperlukan untuk perencanaan ulang alternatif 2 adalah sebesar Rp 793.175.680.
 12. Biaya operasi yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 978.631.128 dalam periode 5 tahun.
 13. Biaya operasi yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 12.000.000 dalam periode 5 tahun.

6.2. Saran

Saran untuk penelitian atau perencanaan kedepan dari hasil evaluasi dan perencanaan ulang unit IPAL untuk salah satu industri tekstil adalah sebagai berikut:

- a. Memperbanyak data hasil uji laboratorium sampel limbah cair yang dibuang dari tiap unit agar dapat menambah referensi fluktuatif dari karakteristik air limbah serta memudahkan dalam evaluasi, perhitungan perencanaan, dan menentukan desain alternatif.

- b. Memperbanyak dan mengkaji lebih dalam terkait teknologi pengolahan air limbah industri tekstil.
- c. Mencari kombinasi alternatif yang lebih variatif.
- d. Memilih rekomendasi yang paling mudah untuk digunakan
- e. Menggunakan harga terbaru dari biaya operasional

DAFTAR PUSTAKA

- Amaral, F.M, et al. 2014. **Colour, Organic Matter, and Sulfate Removal from Textile Effluents by Anaerobic and Aerobic Processes**. Bioresources Technology, 163, pp. 364-369
- Anonim. **SNI 6774-2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air**. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Arsana, I. M. Y. 2001. **Studi Kemampuan Up-Downflow Anaerobic Reactor Dalam Menurunkan Kandungan COD dan Warna Pada Limbah Cair Industri Pencelupan (Tekstil)**. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. **SNI 6774-2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air**. Jakarta: BSN
- Baraoidan, W. A., Tun, L. L., et al. 2007. **A Study on the Relative Performance of Different Coagulant and the Kinetics of COD in the Treatment of a Textile Bleaching and Dyeing Industrial Wastewater**. ASEAN Journal of Chemical Engineering, 7, pp. 49-60
- Jacob, J., Le Lann, J.M., et al. 1994. **Dynamic Simulation of Submerged Packed Biofilters in Wastewater Treatment Plants**. Computers Chem. Engineering, 18, pp. S639-S643
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2011. **Seri Sanitasi Lingkungan Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan**. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Medik dan Sarana Kesehatan

- Manurung, R., Irvan, dkk. 2004. **Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob**. Sumatera Utara: e-USU Repository
- Metcalf and Eddy. 1991. **Wastewater Engineering 3rd Edition**. New York: McGraw-Hill Book Company
- Metcalf and Eddy. 2004. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition**. Singapore: McGraw-Hill Company
- Pemerintah Provinsi Jawa Timur. 2013. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya**. Surabaya: Pemerintah Propinsi Jawa Timur
- Putri, A. R. 2013. **Penentuan Rasio BOD/COD Optimal Pada Raktor Aerob, Fakultatif, Dan Anaerobik**. Semarang: Tugas Akhir Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro
- Reynolds, T.D. and Paul A.R. 1995. **Unit Operations And Processes In Environmental Engineering**. Boston: PWS Publishing Company
- Said, N. I. 2000. **Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup**. Jurnal Teknologi Lingkungan, 1, hal. 101-113
- Said, N. I. 2002a. **Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tekstil dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Tercelup Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon**. Jurnal Teknologi Lingkungan, 2, hal. 124-135
- Said, N. I. 2002b. **Teknologi Pengolahan Limbah Cair Dengan Proses Biologis**. Jakarta: BPPT
- Sasse, L. 1998. **DEWATS : Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries**. Bremen: BORDA

- Spagni, A., Casu, S., et al. 2012. **Decolourisation of Textile Wastewater in Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor**. Bioresources Technology, 117, pp 180-185
- von Sperling, M. and Chernicharo, C.A. 2005a. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions Volume One**. London: IWA Publishing
- von Sperling, M. and Chernicharo, C.A. 2005b. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions Volume Two**. London: IWA Publishing

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kota Surabaya pada tanggal 28 Juni 1994. Penulis memulai pendidikannya pada tahun 1999-2000 di TK Islam Muhajirin Surabaya, pendidikan dasar pada tahun 2000-2006 di SDN Kertajaya Surabaya, pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 6 Surabaya pada tahun 2006-2009 dan pendidikan tingkat atas di SMAN 7 Surabaya pada tahun 2009-2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya pada tahun 2012-2016.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL), aktif sebagai staf komunitas Al-Kaun HMTL pada periode kepengurusan 2013/2014 dan dilanjutkan dengan menjadi staf Departemen Seni dan Olahraga HMTL pada periode 2014/2015 serta menjadi seorang anggota tim konseptor Masa Kenal Lingkungan (Program Kaderisasi Mahasiswa Baru HMTL) pada periode 2013/2014 dan diberi amanah sebagai koordinator tim konseptor MKL pada periode 2014/2015. Organisasi lain yang diikuti adalah Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) pada periode kepengurusan 2013/2014 sebagai staf Departemen Hubungan Luar. Penulis juga mengikuti berbagai macam kegiatan pelatihan di bidang manajemen, hubungan publik, dan minat bakat untuk pengembangan diri. Pengalaman penulis dalam bidang keahlian Teknik Lingkungan adalah melakukan magang disebuah konsultan sebagai asisten tenaga ahli dalam proyek penyusunan RISPAM Provinsi Maluku Utara pada bulan Juni hingga Juli 2015 saat menempuh Kerja Praktik. Penulis dapat dihubungi via email muzakky12@mhs.enviro.its.ac.id